Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

+ *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.

+ *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.

+ *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.

+ *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página `http://books.google.com`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

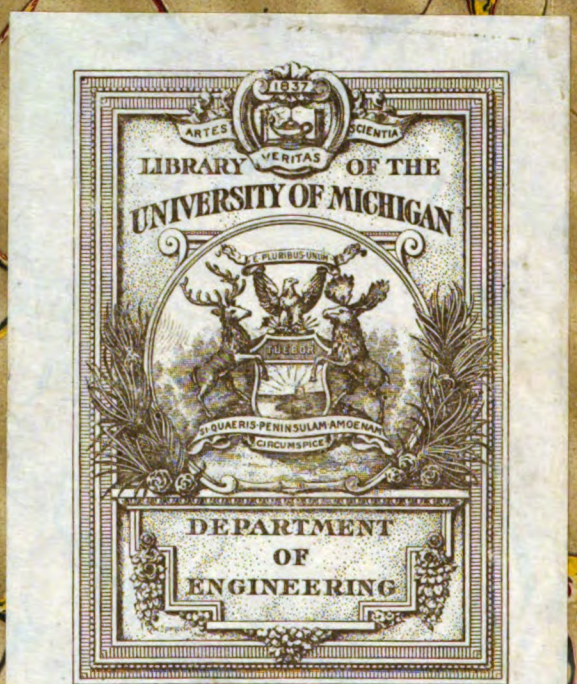
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

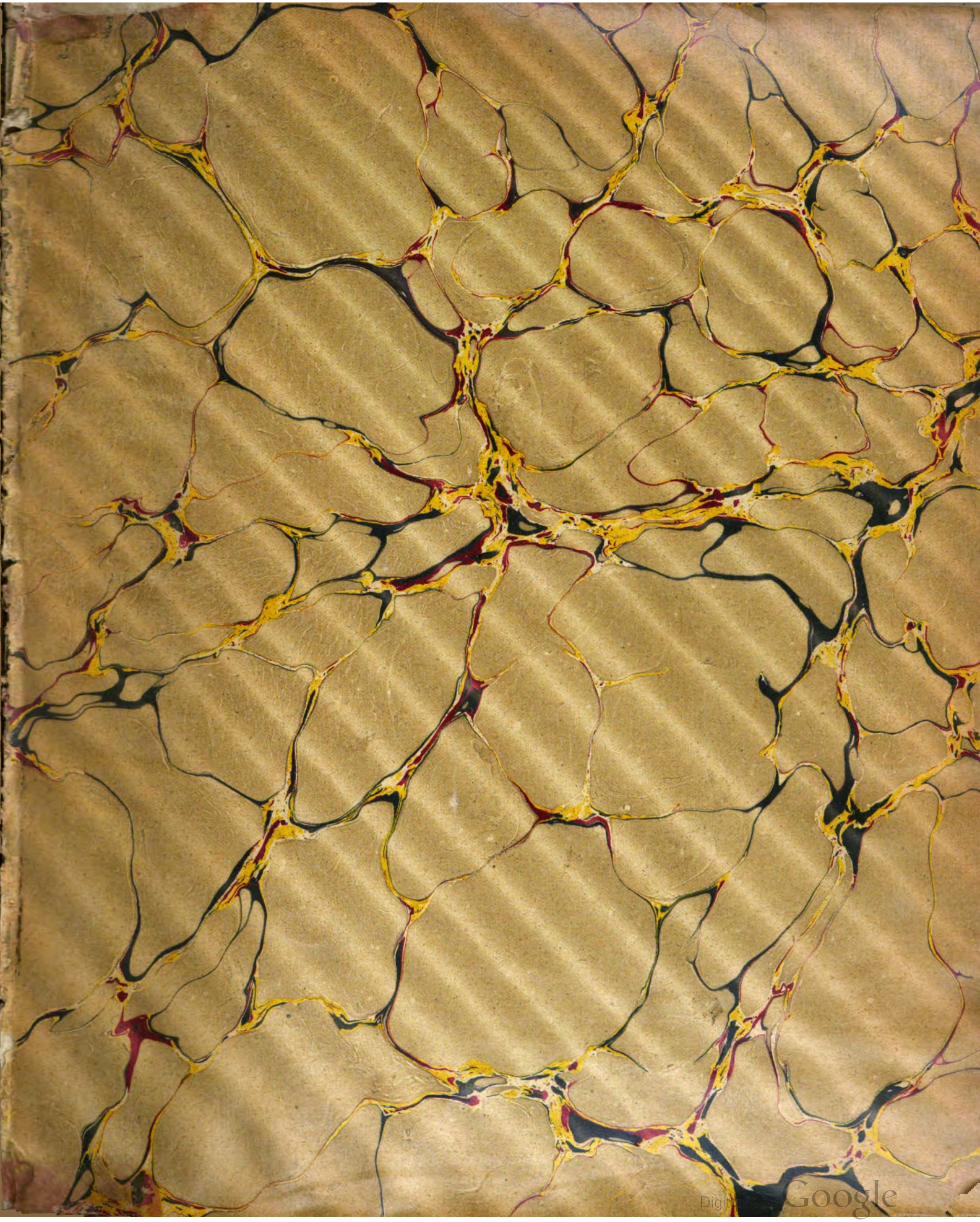
La Lumière électrique

Digitized by Google



Returned to General Library

Digitized by Google


Digitized by Google

Digitized by Google

TK
2
.L95
M.S. V. 22

Digitized by Google

Digitized by Google

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

Digitized by Google

Digitized by Google

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. CORNU
PROFESSEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

G. LIPPMANN
PROFESSEUR A LA SORBONNE
MEMBRE DE L'INSTITUT.

D. MONNIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES.

H. POINCARÉ
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. POTIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES MINES,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. WITZ
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES,
PROFESSEUR A LA FACULTÉ LIBRE DES SCIENCES DE LILLE.

J. BLONDIN
AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ
PROFESSEUR AU COLLÈGE ROLLIN.

TOME XXII

1er TRIMESTRE 1900

PARIS

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS

3, RUE RACINE, 3

Digitized by Google

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 6 Janvier 1900. 7e Année. — N° 1.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

SUR L'ÉNERGIE DES COURANTS

Quand un courant *constant I* traverse un circuit de résistance R, la source fournit par unité de temps une quantité d'énergie RI^2, qui se retrouve intégralement en chaleur. Il n'en est plus de même si le courant est variable. En particulier si à côté du circuit s'en trouve un second fermé sur lui-même, qui n'est parcouru par aucun courant, et si l'on vient à retirer brusquement la source du premier circuit, un courant parcourt le circuit fermé, provoquant un dégagement de chaleur et, dans certains cas, des mouvements mécaniques. L'énergie qui apparaît dans ces formes ne peut venir d'agents extérieurs, la mise hors circuit de la source pouvant être effectuée sans dépense d'énergie de la part de ceux-ci ; elle existe donc dans le système en même temps que le courant, sous une forme non libre, dite énergie potentielle, et ne peut avoir été fournie que par la source au moment où le courant a été établi

L'énergie que doit dépenser une source pour établir et entretenir un courant dans un circuit peut donc se diviser en deux parties : l'une, indépendante du temps, est cette énergie potentielle indisponible, occluse pour ainsi dire, tant que le courant est constant et le système entier immobile, l'autre proportionnelle au temps apparaît sous forme de chaleur d'après la loi de Joule. Un circuit parcouru par un courant constant est comparable à un volant en marche ; la machine a dû lancer le volant, dépenser un certain travail emmagasiné sous forme de force vive, libérable à l'arrêt ; elle doit en outre entretenir le mouvement malgré les résistances passives, et l'énergie fournie, proportionnelle au temps, apparaît sous forme de chaleur comme celle qui correspond à l'effet Joule, dans le cas d'un courant.

L'existence de l'énergie potentielle d'un circuit parcouru par un courant est intimement liée à l'existence du courant et des manifestations de celui-ci, en particulier à celle du champ magnétique. L'expérience suivante est probante à cet égard : il suffit que le circuit

31985

Digitized by Google

auxiliaire dont il a été question plus haut soit placé dans une région où la force magnétique due au courant soit sensible, et de manière à ce que le flux d'induction qu'il embrasse ne soit pas nul, pour que lors de la cessation du courant de la chaleur soit dégagée sur ce circuit; si au contraire le flux primitivement embrassé est nul, aucun phénomène n'apparaît; on est donc amené à penser que l'énergie potentielle est localisée sous la forme magnétique, puisqu'elle prend naissance avec le champ et disparaît avec lui en tant qu'énergie potentielle.

Quand dans le champ existent plusieurs courants, on peut considérer cette énergie potentielle comme composée de deux parties : la première qui est la somme des quantités d'énergie qui correspondraient à chaque circuit s'il était isolé, est appelée la somme des énergies *intrinsèques;* la seconde due au fait que les circuits sont en présence dans le champ est dite énergie *relative.*

Dans un système de conducteurs où prennent naissance des courants, la manière dont les sources concourent à la production de l'énergie relative n'est pas déterminée si l'on envisage seulement l'état initial et l'état final du système; elle dépend de la manière dont se fait l'émission des courants, comme nous le verrons plus loin.

L'énergie potentielle du système est indivisible au point de vue de la conservation de l'énergie, de sorte que l'on ne saurait, sans s'exposer à obtenir des résultats inexacts, appliquer à un ou plusieurs circuits considérés indépendamment des autres le principe de la conservation de l'énergie ou ses conséquences.

On peut établir l'expression de cette énergie potentielle en partant seulement des lois de l'induction considérées comme établies expérimentalement, déduites des expériences de Faraday indépendamment des lois de l'électromagnétisme ; il suffira d'avoir au préalable vérifié à l'aide d'un voltamètre et d'un condensateur la loi de déviation du galvanomètre balistique.

De la connaissance de cette énergie on peut, sans recourir de nouveau à l'expérience, déduire d'importantes conséquences :

Actions mécaniques d'un champ magnétique sur un circuit; loi de ces actions, actions réciproques de deux ou plusieurs circuits; plus généralement actions mécaniques dans les systèmes électromagnétiques, et leurs lois.

Ainsi, en partant de la loi d'induction, je me propose en particulier d'établir les lois de l'électromagnétisme; c'est suivre l'ordre inverse de la marche classique; il lui est préférable parce qu'il permet de baser l'électromagnétisme sur des lois expérimentales établies avec beaucoup plus de précision que les expériences d'attraction : « les expériences (d'induction) se font bien plus aisément que celles qui sont relatives aux attractions électromagnétiques et exigent que le conducteur lui-même soit délicatement suspendu. » (Maxwell, t. II, p. 211). De plus s'il est possible de passer des lois de l'induction à celles de l'électromagnétisme, il est impossible de remonter des lois de l'électromagnétisme à celles de l'induction, tout au moins d'une façon élémentaire, et la marche que je propose ne fait intervenir les mesures expérimentales qu'une fois. Ce résultat m'a paru assez intéressant parce que j'estime que réduire les faits expérimentaux indispensables dans une science, c'est diminuer le fait de la mémoire et faire ressortir en même temps les relations de cause à effet des phénomènes entre eux.

A la suite de l'énergie des courants et comme application immédiate j'établirai la formule de Biot et Savart qui peut être prise pour base de l'électromagnétisme et ensuite la formule pratique relative aux électro-aimants, qui, comme nous le verrons n'est exacte que dans des cas particuliers.

Digitized by Google

I. — Établissons d'abord de quoi dépend l'expression de l'énergie potentielle d'un système de conducteurs parcourus par des courants.

a. Considérons d'abord le cas simple où dans le champ existe un seul circuit : l'énergie peut être considérée comme dépendant des qualités de ce circuit et être exprimée en fonction de l'intensité du courant I qui le parcourt et du flux d'induction Φ produit par ce courant. Si le courant vient à cesser, la source produisant le courant étant remplacée par un conducteur de résistance nulle, une force électromotrice d'induction prend naissance et produit un courant qui échauffe le conducteur ; la quantité d'énergie correspondante a été fournie par la source quand elle a établi le courant I, en dehors de l'énergie absorbée par l'effet Joule.

b. Soit le cas où dans le champ, outre le circuit parcouru par le courant I, se trouvent d'autres circuits conducteurs qui ne sont parcourus par aucun courant ; l'énergie potentielle du système est-elle la même que précédemment ? Oui, car imaginons que nous coupions les circuits qui ne sont parcourus par aucun courant, et les développions ce qui pourrait se faire sans dépense d'énergie et sans apparition de chaleur ; si alors nous interrompons le courant I, le circuit se trouvera dans les mêmes conditions que ci-dessus, tant au point de vue du flux que de sa variation, et la quantité de chaleur dégagée sera identiquement la même ; nous pourrons déduire de là que l'énergie fournie par la source qui a établi le courant est la même, que dans le champ se trouvent des circuits fermés ou non. Cette proposition est intéressante parce qu'elle montre la possibilité de dégager de la chaleur par transformation de l'énergie potentielle en tel point du champ que l'on voudra ; il suffira d'y amener un circuit ouvert déployé, et le circuit une fois en place le fermer sur lui-même, ce qui pourra n'entraîner aucune dépense de travail de la part d'agents extérieurs, ne mettra en jeu aucune force électromotrice ; lors de la disparition du champ, par cessation du courant I, de la chaleur sera dégagée dans le circuit fermé.

c. Dans le cas où dans le champ se trouvent deux ou plusieurs circuits, on peut supposer qu'on fasse naître les courants successivement dans les différents circuits, ou qu'on lie d'une autre manière les intensités des courants entre elles ; la somme des quantités d'énergie dépensées par les sources par le fait des forces électromotrices d'induction sera l'énergie potentielle du champ. Cette énergie n'est pas localisée dans les circuits, elle peut se transformer au moins en partie en chaleur en une région quelconque du champ, il suffit de placer dans cette région un circuit ouvert que l'on fermera sur lui-même une fois en place, et qui, lors de la libération de l'énergie potentielle par la cessation des courants dans les circuits, deviendra le siège d'un dégagement de chaleur.

II. — Je vais maintenant établir l'expression de l'énergie potentielle (*a*) d'un circuit unique parcouru par un courant I, (*b*) d'un ensemble de circuits parcourus par des courants.

a. Soit un courant I parcourant le conducteur, Φ le flux d'induction produit par ce courant et embrassé par lui (Φ représente le flux total, somme des flux embrassés par toutes les spires du circuit et n'est en général pas proportionnel à leur nombre) ; si E est la force électromotrice de la source agissant sur le circuit, l'équation du courant sera :

$$E = RI + \frac{d\Phi}{dt}$$

qui exprime la loi d'Ohm et celle de l'induction ; dans le temps dt l'énergie dépensée par la source est :

$$E\,I\,dt = RI^2dt + I\,\frac{d\Phi}{dt}\,dt = RI^2\,dt + I\,d\Phi;$$

Digitized by Google

une partie de cette énergie représentée par le terme RI^2dt est intégralement convertie en chaleur, l'autre $Id\Phi$ est emmagasinée sous forme d'énergie potentielle ; il suit de là que l'énergie d'un circuit parcouru par le courant I_1 sera :

$$W = \int_0^{I_1} I\,d\Phi ,$$

quantité indépendante comme on l'a vu de la manière dont varie l'intensité,

Le flux Φ est une fonction de I, linéaire dans le cas où le milieu ne contient pas de corps magnétiques à perméabilité variable, parce qu'alors l'induction est ou égale ou proportionnelle à la force, et que celle-ci est proportionnelle à l'intensité par définition de cette dernière quantité ; dans le cas où le milieu contient des corps à perméabilité variable, la relation qui lie Φ à I est de forme complexe et inconnue.

Dans le premier cas on aura :

$$\Phi = L_1 I \qquad d\Phi = L_1\,dI$$

où L_1 est le coefficient de self-induction supposé invariable du système, et par suite :

$$W = \int_0^{I_1} L_1 I dI = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 = \frac{1}{2} \Phi_1 I_1$$

expressions bien connues.

Dans le second cas, supposons qu'on connaisse la loi de variation du flux avec l'intensité et qu'elle soit représentée par la courbe de la figure 1 ; si le point A correspond au courant I_1, l'énergie sera représentée par l'aire OMAB et ne sera plus égale à l'expression précédente.

Dans le cas où la perméabilité est constante, et où le circuit se déforme, L variant avec le temps, L et I étant tous deux fonctions du temps, on pourra regarder le flux $LI = \Phi$ comme fonction de I et construire la courbe représentative de celui-ci OMNA par exemple sur la figure 2. Dans ce cas on voit que le circuit a subi une déformation lorsque l'intensité était I', le coefficient de self-induction est passé de la valeur $L' = \frac{MI'}{OI'}$ à la valeur $L_1 = \frac{NI'}{OI'}$. L'énergie fournie par la source, toujours représentée par $\int^{I_1} Id\Phi$ sera donnée par l'aire OMNAB ; l'énergie potentielle qui ne dépend que de l'état final le sera par l'aire ONAB,

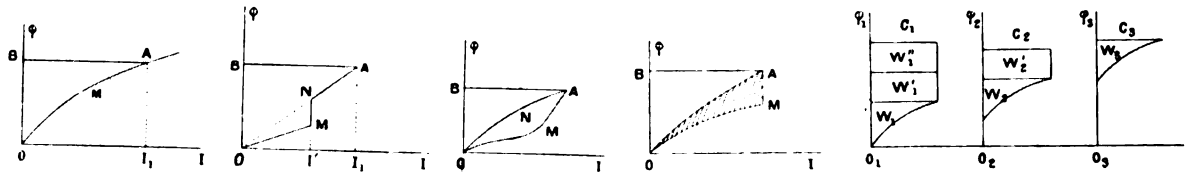


Fig. 1 à 5.

et la différence, c'est-à-dire l'aire du triangle OMN représente le travail extérieur, égal ici à $\frac{1}{2}(L_1 - L')\,I'^2$.

Cette remarque est générale ; quelle que soit la forme de la courbe OMNA, le travail extérieur produit sera toujours la différence entre l'aire réelle et le triangle obtenu en joignant l'origine à l'extrémité de la courbe.

Dans le cas d'une perméabilité variable, les résultats sont analogues. Le travail extérieur produit sera la différence entre l'aire réelle OMAB (fig. 3) et l'aire obtenue en traçant la courbe des flux, le circuit ayant sa forme définitive, ONA.

Digitized by Google

S'il s'agit d'un électro-aimant attirant son armature, l'intensité du courant restant constante, les courbes se présenteront sous l'aspect de la figure 4, l'aire couverte de hachures représentant le travail dépensé sur l'armature. J'indiquerai plus loin comment dans quelques cas on peut calculer l'attraction d'un électro-aimant sur son armature.

b. Soient plusieurs circuits C_1, C_2, C_3..., parcourus par des courants I_1, I_2, I_3. L'énergie totale du système étant indépendante de la manière dont les courants ont été établis, nous pouvons supposer que les circuits C_2, C_3 étant coupés, on établisse le courant dans le circuit C_1, Φ_{11} étant le flux embrassé par ce circuit, l'énergie fournie par la source sera :

$$W_1 = \int_0^{\Phi_{11}} I d\Phi :$$

fermons ensuite le circuit C_2, et lançons-y le courant I_2, le flux embrassé par C_1 passant de la valeur Φ_{11} à la valeur Φ_{12}, la source a dû fournir l'énergie

$$W'_1 = \int_{\Phi_{11}}^{\Phi_{12}} I_1 d\Phi$$

I restant constant et égal à I_1.

La source agissant sur C_2 a fourni, si Φ_{21} est le flux embrassé lorsque le courant I_1 existe seul et Φ_{22} le flux final :

$$W_2 = \int_{\Phi_{21}}^{\Phi_{22}} I d\Phi$$

On verrait de même qu'en fermant le circuit C_3 et y établissant le courant I_3 les sources ont fourni pour les trois circuits C_1, C_2 et C_3, respectivement

$$W'' = \int_{\Phi_{12}}^{\Phi_{13}} I_1 d\Phi, \quad W'_2 = \int_{\Phi_{22}}^{\Phi_{23}} I_2 d\Phi, \quad W_3 = \int_{\Phi_{32}}^{\Phi_{33}} I_3 d\Phi.$$

La source agissant sur le circuit C_1 a fourni $W_1 + W'_1 + W''_1$, celle qui agit sur C_2, $W_2 + W'_2$ enfin celle de C_3, W_3, quantités représentées par les aires de la figure 5.

Il est remarquable que toute autre loi de variation des courants donnerait des apports d'énergie différents pour chacune des sources, la somme totale pouvant être plus grande que la somme ci-dessus (si les circuits non parcourus par des courants sont fermés sur eux-mêmes), mais que l'énergie potentielle, non transformée immédiatement en chaleur, sera la même $\Sigma \int I d\Phi$.

Considérons en particulier le cas de deux circuits placés dans un milieu à perméabilité constante, les courbes représentant les flux sont alors des droites dont l'inclinaison ne dépend pas du flux embrassé par le circuit, et les tracés précédents se réduisent à ceux de la figure 6.

Si au lieu de lancer le courant dans C_1 d'abord, on commence par C_2, les tracés deviennent ceux de la figure 7 ; l'aire totale devant être la même et les aires triangulaires étant identiques d'après la remarque ci-dessus, il faut que les aires rectangulaires soient égales, c'est-à-dire que l'on ait :

$$I_1 \Phi_{12} = I_2 \Phi_{21}$$

et comme Φ_{12} et Φ_{21} sont (la perméabilité étant constante) proportionnels l'un à I_2, l'autre à I_1, on aura :

$$I_1 M_1 I_2 = I_2 M_2 I_1 \qquad \text{d'où} \qquad M_1 = M_2 = M.$$

M n'est autre chose que le coefficient d'induction mutuelle ; ce résultat pourra s'énoncer de la manière suivante : le flux embrassé par C_2 dû au courant 1 traversant C_1, est égal au

***

Digitized by Google

flux embrassé par C_1 dû au courant i traversant C_2, propriété bien connue et des plus remarquables, *qui n'existe en toute rigueur que quand la perméabilité est constante.*

Les énergies intrinsèques sont représentées par les aires triangulaires ON_1A_1 ; $M_2A_2C_2$; l'énergie relative par la surface $N_1A_1B_1C_1$. Si l'on suppose qu'après avoir établi le courant I_1 dans le circuit C_1, on remplace celui-ci par le feuillet équivalent (1), puis qu'on fasse naître

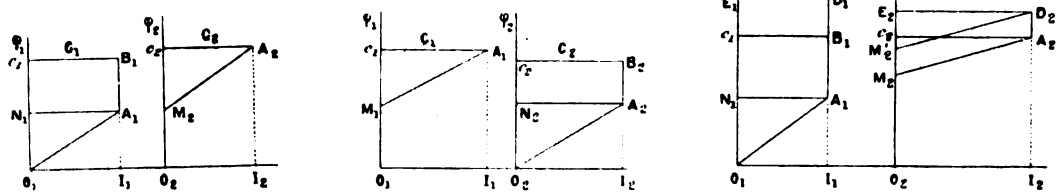


Fig. 6 à 8.

le courant I_2, il n'y aura plus lieu de considérer l'aire $N_1A_1B_1C_1$ le feuillet ne possédant pas de sources d'énergie ; on déduit facilement de là le théorème connu : l'énergie relative d'un courant et d'un aimant est nulle.

L'expression de l'énergie dans le cas de deux courants se met aisément sous la forme classique $\frac{1}{2}\Sigma\Phi I$; il suffit de remarquer que la somme des aires $O_1I_1B_1C_1$; $O_2I_2A_2C_2$ représente le double de l'énergie et peut s'écrire $\Sigma\Phi I$.

Supposons maintenant que le coefficient d'induction mutuelle vienne à varier, passant de M à M′ ; les flux varieront alors tous deux, l'un de $(M' - M)\,I_1$, l'autre de $(M' - M)I_2$, et l'énergie dépensée par les sources croîtra par exemple des aires égales $C_1B_1D_1E_1$, $C_2A_2D_2E_2$ (fig. 8).

Si le déplacement des circuits a été opéré avant l'émission du courant I_2, sans production de travail extérieur par conséquent, l'énergie fournie par la première source restant la même, celle fournie par la seconde est moindre de l'aire $M_2A_2D_2M'_2$, égale à $C_1B_1D_1E_1$, cette aire représente donc le travail extérieur et l'on retrouve le théorème connu.

Lors d'un déplacement des circuits avec production de travail extérieur, le coefficient d'induction mutuelle passant de M *à* M′, *le gain d'énergie potentielle du système est égal à ce travail, l'énergie fournie par les sources se partageant en deux parties égales toutes deux à* $(M' - M)\,I_1I_2$.

Dans le cas où la perméabilité du milieu n'est pas constante, les phénomènes sont moins simples ; il n'y a plus en général de coefficient d'induction mutuelle.

Il suffit pour se rendre compte de ce fait, de considérer deux bobines identiques, l'une C_1 à noyau de fer, l'autre C_2 sans noyau ; le système sera dans deux états différents au point de vue de la perméabilité, suivant que le courant i traversera le circuit C_1 ou le circuit C_2, l'induction n'étant pas la même dans le noyau de fer, dans les deux cas. On pourra encore considérer cependant un coefficient d'induction mutuelle si toutes les lignes de force émanées d'un circuit sont embrassées par l'autre ; cas approximativement réalisé dans les transformateurs de courant alternatif, par exemple ; toutefois les flux produits ne seront pas proportionnels à l'intensité.

(1) L'équivalence d'un courant *constant* et d'un feuillet peut être tirée de la loi de Biot et Savart qui peut être démontrée à la fin du paragraphe (*a*).

Digitized by Google

III. — Il est intéressant de donner de l'énergie d'un circuit une expression où entrent la force et l'induction magnétiques en chaque point du champ, l'énergie étant considérée comme liée aux qualités magnétiques du champ.

L'expression de l'énergie d'un circuit est

$$W = \int_0^t I \frac{d\Phi}{dt} dt$$

Considérons un tube de force correspondant au flux d'induction φ. Soient h la force magnétique en un point du tube, dl l'élément de longueur de ce tube, on aura (1)

$$\int_0^l h dl = 4\pi I \qquad \text{d'où} \qquad I = \frac{1}{4\pi} \int_0^l h dl.$$

D'ailleurs W peut s'écrire

$$W = \int_0^t \Sigma I \frac{d\varphi}{dt} dt = \int_0^t \Sigma \frac{1}{4\pi} \frac{d\varphi}{dt} \int_0^l h dl \, dt$$

le signe Σ s'étendant à tous les tubes du champ.

Or si ds est la section normale en un point d'un tube et B l'induction en ce point,

$$\varphi = B ds \qquad \text{et} \qquad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{dB}{dt} ds;$$

Considérons un élément d'un tube ; nous pouvons, pour lui, remplacer l'élément de l'intégrale $h \frac{d\varphi}{dt} dl$ par son égal $h \frac{dB}{dt} ds\, dl$, l'intégration sera faite d'abord pour les différents éléments d'un tube, puis pour les tubes, ou, ce qui revient au même, pour tous les éléments des tubes, on aura alors :

$$W = \int_0^t \int_{vol} \frac{1}{4\pi} h \frac{dB}{dt} dv\, dt \quad \text{ou} \quad W = \int_{vol} \left(\frac{1}{4\pi} \int_0^B h dB \right) dv$$

l'énergie par unité de volume en un point est alors :

$$\frac{1}{4\pi} \int_0^B h dB .$$

Cette expression ne se simplifie que dans le cas seul d'une perméabilité constante et devient alors :

$$\frac{1}{8\pi} \mu h^2$$

forme bien connue.

Première application. — *Loi de Biot et Savart.* — Cette application peut être faite après le paragraphe *a* du n° II.

Considérons un circuit conducteur placé dans un champ magnétique dû à des aimants permanents et embrassant un flux Φ_1 ; ce circuit s'il n'est parcouru par aucun courant ne possède aucune énergie, car on peut sans dépense de travail amener le circuit déployé à sa place et le fermer sur lui-même ; il n'y aura aucun courant produit ; si à l'aide d'une source on fait naître un courant dans le circuit l'énergie du système ne se composera que de l'énergie intrinsèque $\frac{1}{2} L I^2$, car lors d'une variation de l'intensité le flux Φ_2 dû au courant

(1) Cette relation peut être considérée comme établie déjà, la loi de l'électromagnétisme pouvant être établie après le paragraphe *a* du n° II.

Digitized by Google

et embrassé par le circuit varie seul, l'apport d'énergie de la part de la source n'est que $I d\Phi_2$, le même que les aimants permanents existent ou non (1).

Si le circuit se déforme, les flux Φ_1 et Φ_2 varieront; l'énergie fournie par la source correspondra à la somme du travail extérieur et de l'accroissement d'énergie intrinsèque dû à la variation du coefficient de self-induction. Nous pouvons faire deux parts de cette énergie, l'une due au flux Φ_1, l'autre au flux Φ_2, le travail extérieur et l'accroissement d'énergie correspondant à cette dernière sont les mêmes que le flux Φ_1 existe ou soit nul et sont donnés par les expressions précédemment trouvées; étudions ce qui est relatif au flux Φ_1.

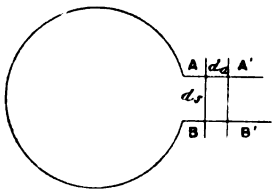


Fig. 9.

Imaginons que le circuit ayant la forme de celui de la figure 9, la portion rectiligne $AB = ds$, vienne en $A'B'$ se déplaçant parallèlement à elle-même d'une longueur dx. Si $\mathcal{H}\sin\alpha$ est la composante du champ normal au plan $ds\,dx$, la variation du flux est :

$$d\Phi_1 = \mathcal{H}\sin\alpha\, ds\, dx;$$

l'énergie fournie par la source est :

$$I\, d\Phi_1 = I\mathcal{H}\sin\alpha\, ds\, dx$$

et comme cette énergie n'est pas employée à faire varier l'énergie intrinsèque, elle correspond tout entière à du travail extérieur. Si f est la composante de la force mécanique qui sollicite l'élément de circuit dans le plan $ds\,dx$, le travail sera $f dx$ et l'on aura :

$$I\mathcal{H}\sin\alpha\, ds\, dx = f dx$$

d'où

$$f = I\mathcal{H}\sin\alpha\, ds$$

la valeur maximum de cette composante est :

$$F = I\mathcal{H}\, ds$$

Elle est alors dirigée suivant la force elle-même, et puisqu'elle correspond à $\sin\alpha = 1$, on voit qu'elle est normale à l'élément de courant et à la force magnétique $\mathcal{H}$.

C'est la formule de Biot et Savart, déduite de la loi expérimentale de l'induction, et du principe de la conservation de l'énergie.

Il est à remarquer que la réciproque n'est pas vraie et que l'on ne peut de la loi de Biot et Savart et du principe de la conservation de l'énergie déduire la loi de l'induction.

Les théories de l'électromagnétisme peuvent donc être déduites entièrement de cette loi expérimentale qui suffit, une fois admise, sans que l'on ait en aucune façon besoin de recourir de nouveau à l'expérience.

Deuxième application. — *Attraction d'un électro-aimant sur son armature.* — Soit un électro-aimant dont les bobines sont parcourues par un courant I_1; pour déterminer la force qu'il exerce sur son armature, nous supposerons qu'elle subisse un déplacement infiniment petit dx; le travail effectué est alors $d\mathfrak{T} = F dx$, et nous allons l'évaluer électriquement; de sa mesure nous tirerons la valeur de la force F. Nous pouvons pour cette opération virtuelle supposer que le flux d'induction reste le même, l'intensité variant de dI pendant le déplacement; la valeur de la force déduite de l'équation obtenue sera indépendante de l'opération faite, cette valeur étant unique.

(1) Ce raisonnement constitue une démonstration de la non-existence de l'énergie relative d'un courant et d'un aimant.

Digitized by Google

Or dans une semblable opération le flux Φ étant resté constant, la source n'a pas fourni d'énergie, $d\Phi$ étant constamment nul; le travail extérieur a été fourni intégralement par la variation de l'énergie potentielle.

En général il ne sera pas possible de calculer cette quantité ; toutefois dans le cas où le déplacement de l'armature ne modifie pas ou presque pas le tracé des lignes de force dans les milieux magnétiques, le flux étant constant, l'induction est constante en chaque point et par suite aussi la perméabilité. On peut alors identifier le système réel à un système identique au point de vue mécanique, mais dont la perméabilité serait constante et aurait en chaque point la même valeur que dans le système réel dans l'état considéré. L'identification sera légitime pour toutes les opérations à flux constant satisfaisant à la condition ci-dessus ; les énergies des deux systèmes varieront de la même quantité et les travaux extérieurs seront les mêmes. Or pour le second système (fig. 10) la variation d'énergie $OB_1 B_2$ n'est autre que $-\frac{1}{2}\Phi dI = d\mathcal{C} = F dx$.

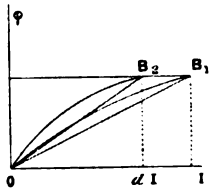


Fig. 10.

Si L est le coefficient de self-induction du système, $\Phi = LI$ et on aura

$$\frac{1}{2}\Phi dI = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{dx} dx = F dx$$

ou

$$F = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{dx}$$

En introduisant l'expression de la réluctance ou résistance magnétique $\mathfrak{R}$, liée au flux et à l'intensité par l'expression

$$\mathfrak{R}\Phi = 4\pi NI$$

on aura :

$$F = 2\pi N I^2 \frac{d}{dx}\left(\frac{1}{\mathfrak{R}}\right).$$

Dans ces expressions I est exprimé en unités absolues C. G. S. et F en dynes, si les grandeurs géométriques le sont en centimètres.

A. Perot,
Professeur de physique industrielle
à la Faculté des sciences de Marseille.

SYSTÈMES DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE [1]

SYSTÈMES DE DISTRIBUTION PAR COURANTS ALTERNATIFS

Le système de distribution de M. C. F. Scott [2] a pour but de permettre l'alimentation sur un réseau monophasé d'un moteur à courants diphasés. Le réseau monophasé est supposé être un réseau à trois fils, le fil neutre ou fil compensateur étant relié au milieu de l'enroulement secondaire.

L'invention de M. Scott est bien simple, elle consiste tout simplement à adjoindre à ce

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 17 juin 1899, t. XIX, p. 401.

(2) Brevet anglais n° 19959, 4 figures. Déposé le 20 septembre 1898, délivré le 23 juillet 1899.

Digitized by Google

système à trois fils un quatrième conducteur, le second circuit des appareils diphasés à champs tournants étant branché entre ce quatrième fil et le fil neutre.

La figure 1 représente le schéma de la distribution de M. Scott. Un alternateur diphasé 1 alimente à l'aide de deux transformateurs 2 et 3, deux réseaux distincts à courants alternatifs simples et à trois fils 4, 5, 6 et 7, 8, 9. Le quatrième conducteur 10 de celui des deux réseaux qui doit alimenter des moteurs à courants diphasés est relié à l'un des conducteurs extérieurs de l'autre réseau, le conducteur 9 par exemple; mais on doit en même temps relier l'autre conducteur extérieur du même réseau au fil neutre du premier. La figure 2 montre le diagramme des tensions entre les différents conducteurs.

Ainsi formé ce système de distribution ne présente rien de bien particulier, car il exige ni plus ni moins de conducteurs que s'il s'agissait d'une distribution diphasée ordinaire.

« Mais il n'est pas nécessaire, dit M. Scott, que les courants diphasés soient empruntés à la même source, deux circuits entièrement indépendants peuvent être évidemment

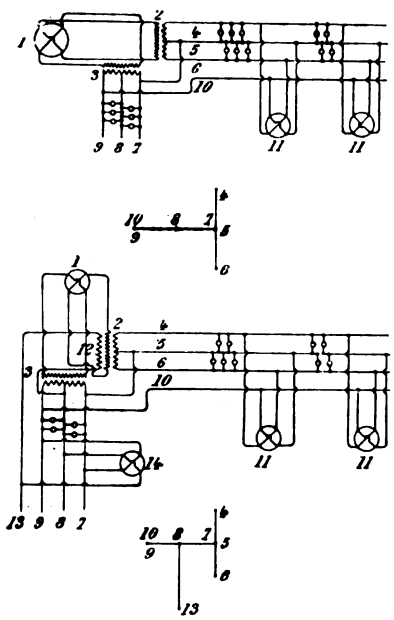


Fig. 1 à 4. — Système de distribution C. Scott pour l'alimentation de moteurs à champ tournant sur un réseau à courant alternatif simple à 3 fils. — 1 et 3, schémas. — 2 et 4, diagrammes de tensions entre les conducteurs du réseau dans les systèmes de distribution des figures 1 et 3.

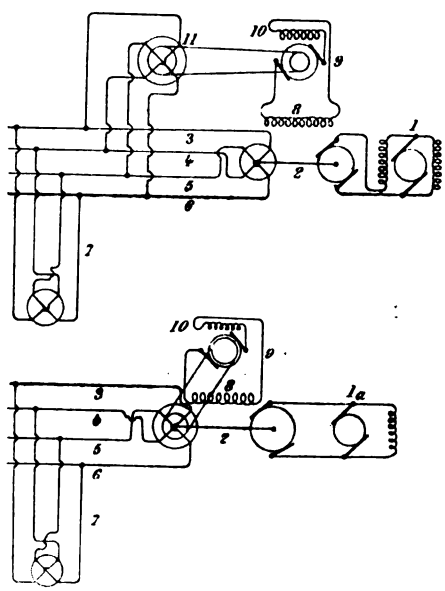


Fig. 5 et 6. — Système de distribution de la Compagnie Westinghouse (M. Lamme), pour convertisseurs de courant continu en courants alternatifs avec excitation spéciale du convertisseur pour la limitation de variations de vitesse.

employés. » Cette remarque de M. Scott manque de clarté et en matière de brevet il eût été indispensable de la préciser un peu. Il est, en effet, évident que les tensions aux bornes des deux circuits indépendants sont en quadrature; si donc on n'emploie pas un alternateur diphasé il faut employer deux alternateurs monophasés montés sur le même arbre ou un alternateur monophasé et un diphasé en parallèle, ce qui ne simplifie nullement la question. Dans ce dernier cas, toutefois, l'alternateur diphasé pourra être placé dans une usine voisine du lieu d'alimentation des moteurs, mais en opérant ainsi on arrive au dispositif imaginé simultanément par l'Elektricitæts-Aktiengesellschaft (Société des anciens éta-

Digitized by Google

blissements Schuckert) et par M. Steinmetz, de la Compagnie Thomson-Houston (1). On peut encore remplacer cet alternateur par un moteur comme l'ont indiqué les deux maisons précédentes, ainsi que la maison Ganz et C^ie de Budapest (2).

Toutes ces solutions sont bien connues maintenant et il est inutile d'insister autrement pour comprendre que le dispositif plus ou moins ténébreux de M. Scott n'a rien de nouveau.

Si l'on veut alimenter des moteurs avec le second réseau, la disposition des circuits est celle de la figure 3, on voit que l'inventeur suppose ici l'emploi à nouveau d'un transformateur 2 à double enroulement secondaire dont les extrémités sont fixées l'une au quatrième conducteur 13 de la distribution diphasée et l'autre au conducteur neutre 8 de la distribution à trois fils et à courant alternatif simple. Le diagramme des tensions entre les divers conducteurs est représenté pour ce dernier cas sur la figure 4.

Si les transformateurs alimentant les deux réseaux sont à distance assez grande l'un de l'autre, il deviendra souvent plus avantageux d'employer pour l'alimentation des moteurs des transformateurs spéciaux, un dans chaque réseau, qu'on branchera sur la phase non utilisée pour l'éclairage, on connectera ensuite leur secondaire d'une part avec le fil neutre et d'autre part avec le quatrième conducteur. Dans ce cas encore le second dispositif de M. Scott quoique plus nouveau que le premier n'offre qu'un intérêt relatif.

Les perfectionnements que la Compagnie Westinghouse (M. Lamme) signale dans un brevet récent (3) sont relatifs aux distributions à courants alternatifs alimentées par des convertisseurs de courants continus en courants alternatifs.

On sait que dans quelques usines qui produisent à la fois du courant continu et du courant alternatif, ce dernier est obtenu quelquefois, soit en totalité, soit en partie, soit seulement pour le service de jour, par des convertisseurs de courant continu en courants alternatifs.

Tant que les courants alternatifs consommés dans le réseau sont en coïncidence de phase avec la tension aux bornes, le convertisseur n'a aucune réaction d'induit et la fréquence pour un courant d'excitation déterminé reste sensiblement constante quelle que soit la charge. Il n'en est plus de même lorsque le convertisseur doit fournir une certaine proportion de courants déwattés. Dans ce cas ceux-ci donnent lieu à une réaction d'induit qui, suivant qu'ils sont en avance ou en retard de phase par rapport à la tension, a pour effet de renforcer ou de diminuer le champ inducteur et par suite de diminuer ou d'augmenter la vitesse et la fréquence.

Le dispositif qu'emploie M. Lamme a pour but, non de supprimer, mais de réduire les variations de fréquence résultant de la production des courants déwattés. Ce n'est donc au fond qu'un palliatif. Il consiste à exciter le champ magnétique du convertisseur par une petite dynamo spéciale, à enroulement inducteur quelconque, série, shunt ou compound, mais fonctionnant normalement à un point assez peu élevé de la caractéristique à vide c'est-à-dire avec une très faible induction. Cette excitatrice est conduite soit par un appareil sur lequel se manifestent les variations de fréquence, par exemple un moteur synchrone ou asynchrone alimenté par les courants alternatifs débités par l'appareil ou même encore par le convertisseur lui-même.

(1) Voir notre article : « Systèmes de distribution de l'énergie électrique » *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 281, 27 mai 1899.

(2) Voir Dubsky : « Procédé de démarrage d'un moteur asynchome monophasé » *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 268, 1897.

(3) Brevet anglais n° 19 246, 2 figures. Déposé le 9 septembre 1898, délivré le 2 septembre 1899. Date du dépôt en Amérique, 10 février 1898.

Digitized by Google

Si la vitesse du convertisseur tend à augmenter par suite de la production d'une forte proportion de courants déwattés en arrière des tensions aux bornes, la vitesse de l'excitatrice augmentant en même temps, la tension aux bornes de l'inducteur croîtra avec le champ inducteur de façon à limiter l'augmentation de vitesse et ceci d'autant plus facilement que l'excitatrice d'abord et le convertisseur ensuite seront moins saturés.

Dans le cas contraire où la vitesse décroîtrait par suite de la diminution de la production déwattée ou de la production de courants en avant des tensions aux bornes, cette diminution sera de même limitée par suite de l'affaiblissement du champ résultant de la diminution du courant d'excitation.

Le dispositif de M. Lamme est représenté sur les figures 5 et 6. Sur la figure 5 la génératrice compound à courant continu 1 alimente le convertisseur à quatre phases 2, aux bornes alternatives duquel est branché le circuit d'utilisation 3, 4, 5, 6; l'excitatrice 9, une machine série, traverse le circuit inducteur du convertisseur et est commandé par le moteur diphasé 11.

La figure 6 diffère de la précédente en ce que la dynamo génératrice à courant continu 10 est une dynamo enroulée en dérivation et à ce que l'excitatrice est commandée mécaniquement par le convertisseur lui-même.

Pour des raisons faciles à comprendre, l'excitatrice sera de préférence une machine série.

M. Lamme a pu grâce à ce procédé réduire les oscillations de vitesse à environ un dixième de ce qu'elles seraient si le circuit inducteur du convertisseur était simplement branché aux bornes du circuit à courant continu.

SYSTÈMES DE DISTRIBUTION PAR COURANT CONTINU

Le système de distribution pour réseau de tramways à trois fils ou pour essais d'éclairage à trois fils avec le conducteur neutre à la terre imaginé par MM. A. B. Blackburn, W. L. Spence et E. S. W. Moore (1) est à la fois un cas particulier de la distribution à cinq fils avec compensatrices (2) et une extension du système à deux fils avec moteur-transformateur de M. Rechniewski (3), lequel du reste n'est qu'un cas particulier du système de distribution à trois fils avec compensatrices, celui où l'un des points n'a aucune charge.

Le système en question est en effet un système à cinq fils avec le fil central à la terre, dans le cas où les deux points extrêmes n'ont aucune charge, les induits extrêmes de la compensatrice fonctionnant uniquement comme moteurs pour transmettre l'énergie électrique aux induits intermédiaires.

Comparé au système de M. Rechniewski il se compose de deux systèmes identiques, ayant le conducteur à bas potentiel commun et par suite les deux génératrices en série ou remplacées par une seule de tension double.

Le système de distribution de MM. Blackburn, Spence et Moore est représenté sur la figure 7. Un génératrice G est montée entre les fils extrêmes du réseau à cinq fils, lesquels doivent porter ici le nom de feeders.

Entre ces inducteurs extrêmes sont branchés les moteurs-générateurs T, T, lesquels peuvent être calés sur des arbres différents, mais de préférence sur un même arbre et for-

(1) Brevet anglais n° 4046, 2 figures. Déposé le 17 février 1898, délivré le 7 janvier 1899.

(2) Voir M. Piani, *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, 1890.

(3) Voir M. C. Rechniewski, *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, 1892.

Digitized by Google

mer par suite une compensatrice ordinaire pour réseau à cinq fils. Les circuits d'utilisation du réseau à trois fils sont branchés aux bornes des induits intermédiaires et le fil central ou compensateur E est mis à la terre.

La partie droite de la figure 7 représente une distribution à trois fils avec sa compensatrice spéciale B, dans ce cas il y a intérêt à remplacer les deux induits intermédiaires par un seul T_1 de puissance double.

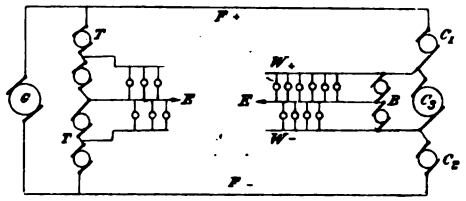


Fig. 7. — Système de distribution de MM. Blackburn, Spence et Moore, à courant continu à 3 fils avec emploi de convertisseur et compensatrices.

L'analogie entre ce système de distribution et celui à cinq fils n'est évidemment qu'une analogie de principes. En pratique, en effet, les compensatrices T, T ou C_1, C_2, C_3, ont une puissance comparée à celle du réseau beaucoup plus grande que dans le cas où elles fonctionneraient sur une distribution normale à cinq fils. En effet, tandis que dans ce cas, la puissance de chaque induit correspond à une fraction plus ou moins faible de la puissance du réseau ou de chaque pont, il faut au contraire que dans le cas qui nous occupe, comme dans le système Rechniewski, et en supposant que la tension aux bornes de la génératrice G est double de celle qui doit exister entre les bornes extrêmes du réseau à trois fils, la puissance de chacun des quatre induits soit égale à un quart de la puissance totale transmise.

Si en particulier la puissance totale est de 200 kilowatts, 400 ampères sous 500 volts, chaque induit devra pouvoir fournir ou absorber 400 ampères sous 125 volts.

Nous ne nous attarderons pas à discuter ce système au point de vue économique, c'est-à-dire dans quelles conditions de tension, de distance, d'amortissement, etc., ce système est préférable au système ordinaire à trois fils. Nous ferons remarquer simplement que le rendement total est égal à celui de chaque induit, ou plus exactement de chacune des quatre machines formant la compensatrice. Les pertes ne portent en effet que sur la moitié de la puissance transmise, l'autre moitié de la puissance passant directement du circuit d'alimentation dans le réseau à trois fils; si donc chaque machine a un rendement de 90 p. 100, la transformation complète aura le même rendement. Ceci se voit du reste facilement en évaluant les pertes des quatre à machines 10 p. 100 par machine, ou 5 kilowatts et par suite 20 kilowatts pour l'ensemble et en comparant ce chiffre à la valeur de la puissance totale 200 kilowatts.

Au point de vue de l'isolation du réseau d'utilisation il est bon de remarquer qu'avec 500 volts à l'usine il n'y a toujours sur ce réseau que 125 volts entre chaque pôle et la terre.

Ajoutons enfin que le système de distribution que nous venons de décrire peut être employé avantageusement pour service de tramways à 500 volts avec emploi d'un réseau d'utilisation à trois fils. Dans ce cas la tension à l'usine et entre les feeders ou conducteurs extrêmes est de 2 000 volts.

Le nouveau système de distribution par courant continu que propose la Compagnie Thomson-Houston est dû à M. Ch. Green (1) ; il a pour but de permettre l'augmentation de la puissance des unités employées, par exemple, pour l'éclairage à arc, tout en restant dans les conditions normales de tension.

Ainsi, si l'on voulait alimenter avec une seule machine 500 arcs montés en série, il fau-

(1) Brevet anglais, n° 23529, 1 figure. Déposé le 8 novembre 1898, délivré le 4 février 1899.

Digitized by Google

drait, si l'on compte 50 volts par lampe, une dynamo fournissant 25 000 volts, tension absolument irréalisable avec les dynamos à arcs. M. Green ramène la tension à supporter par les isolants de la machine, ou plus exactement ramène la différence de potentiel en deux points quelconques du circuit ou de la dynamo à être inférieure à une valeur donnée, 2 000 volts par exemple. Le procédé employé par l'inventeur est des plus simples et consiste simplement à partager, c'est-à-dire à produire la tension totale en plusieurs parties de 2 000 volts chacune par exemple, et à placer un nombre de lampes correspondant à chaque partie en série avec elle, tout l'ensemble étant ensuite monté en série.

On voit donc déjà que l'artifice consiste à employer une dynamo à plusieurs enroulements induits distincts, ou à plusieurs induits qu'on dispose en série avec les lampes correspondantes et à monter tous les groupes en éléments ainsi formés en série fermée.

La figure 8 permettra du reste de comprendre plus aisément ce dispositif qui est à comparer à celui proposé plusieurs fois déjà dans les combinaisons de self-induction et de capacité compensées et consistant à partager la self-induction et la capacité en plusieurs groupes chacun qu'on alterne ensuite de façon à éviter d'avoir une tension élevée sur chaque partie.

L'induit dont une extrémité A est seulement représentée, possède trois enroulements ouverts ou fermés représentés schématiquement en z_1, z_2, z_3 et aboutissant respectivement à l'un des trois collecteurs a_1, a_2, a_3. Chaque induit étant supposé capable de fournir 2 000 volts, la machine pourrait en donner 6 000.

Les balais b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6 sont portés par le même support Y, lequel peut se déplacer sous l'influence d'un électro-aimant Y_1 qui constitue l'organe essentiel du régulateur automatique maintenant le courant constant, s'il s'agit d'une machine à arc. Les circuits d'alimentation sont représentés en D_1, D_2, D_3, chacun en série avec un des enroulements induits.

Les trois groupes ainsi formés sont ensuite montés en série et l'ensemble est enfin fermé sur lui-même. Des interrupteurs E_1, E_2, E_3 permettent de court-circuiter chaque circuit, un quatrième interrupteur G permet de mettre les inducteurs série représentés en F également en court-circuit.

On voit facilement que les balais b_1, b_4, b_3 sont sensiblement au même potentiel, de même aussi les balais b_4, b_5, b_6 ; la machine n'a en somme besoin d'être isolée que pour 2 000 volts, bien qu'elle alimente un circuit d'arcs en série exigeant une tension totale de 6 000 volts. La tension entre deux points quelconques de la machine ou du circuit extérieur ne peut pas non plus dépasser plus de 2 000 volts.

Dans deux autres brevets déposés le même jour (1), M. Green donne la description des dynamos qu'il emploie dans le système de distribution précédent ; ces dynamos sont de deux sortes, elles ont, soit un seul induit avec plusieurs enroulements distincts, soit plusieurs induits portant chacun leur enroulement spécial.

La solution la plus naturelle pour obtenir une dynamo à deux enroulements induits consisterait évidemment, comme cela est du reste employé pour les basses tensions, à superposer les deux enroulements sur toute la périphérie de l'induit, mais ce dispositif n'est pas adopté par M. Green par suite des difficultés d'isolation. L'inventeur préfère disposer chaque induit sur une portion de l'induit correspondant au nombre d'enroulements adopté.

Lorsqu'en particulier le nombre des enroulements est de deux (machine à 4 pôles)

(1) Brevet anglais n° 23 530, 6 figures. Déposé le 8 novembre 1898, délivré le 4 février 1899.
Brevet anglais n° 23 531, 4 figures. Déposé le 8 novembre 1898, délivré le 4 février 1899.

Digitized by Google

comme sur la figure 9, chacun est bobiné sur la moitié de l'anneau, l'un à droite de la ligne $x.x$ et l'autre à gauche. Les différentes sections de chaque enroulement (fig. 10) sont

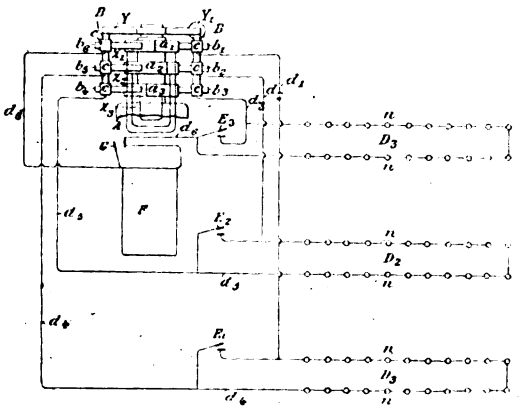


Fig. 8. — Système de distribution pour arcs en série avec différence de potentiel maxima réduite de la Compagnie Thomson-Houston (M. Green).

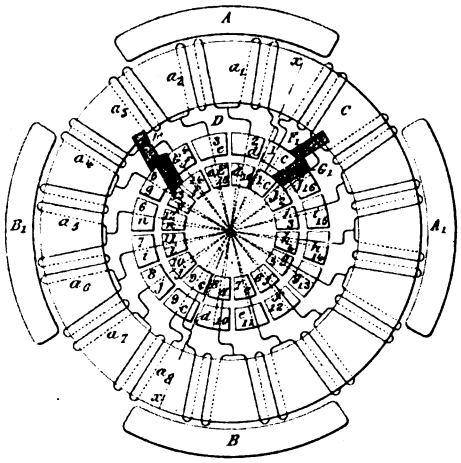


Fig. 9. — Induit d'un dynamo à deux circuits de la Compagnie Thomson-Houston (M. Green) pour distribution par arcs en deux séries avec différence de potentiel maxima réduite.

isolées avec des disques a et les deux enroulements sont séparés par des disques isolants beaucoup plus épais.

Les points de jonction des sections de l'un des enroulements aboutissent aux lames du collecteur D ou plus exactement à une moitié consécutive de ces lames, lesquelles sont reliées directement avec les lames diamétralement opposées suivant le procédé bien connu. Les points de jonction des sections du second enroulement sont reliés de la même façon aux lames des collecteurs E. Sur chaque collecteur frottent deux balais FF′, GG′.

Ces machines sont munies d'un régulateur automatique ordinaire déplaçant les balais pour maintenir le courant constant quel que soit le nombre de lampes allumées.

Les connexions des induits et des courants d'utilisation sont représentées sur la figure 11. Trois interrupteurs 33, 34, 35 sont destinés, le premier à court-circuiter l'inducteur série et les deux autres chacun des deux circuits d'utilisation.

Lorsque l'on veut employer trois enroulements induits et par suite trois circuits d'utilisation, la dynamo doit avoir 6 pôles et chaque enroulement induit occupe le tiers de la surface de cet induit comme le montre la figure 12.

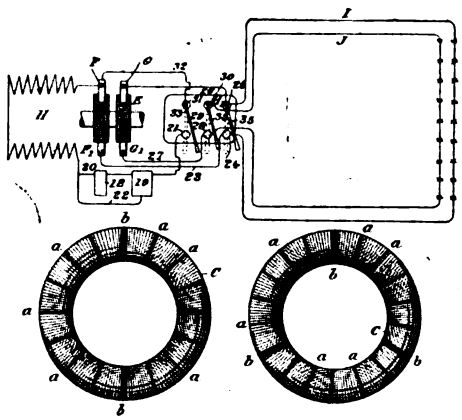


Fig. 10, 11 et 12. — 10, système de distribution par arcs en deux séries avec différence de potentiel maxima réduite de la Compagnie Thomson-Houston (M. Green). — 11, induit d'une dynamo à 2 circuits. — 12, induit d'une dynamo à 3 circuits.

Le second type de machine employé par M. Green, est celui à induit multiple avec un seul circuit inducteur.

Ce genre de machine n'offre rien de particulier, chaque induit aboutit à un collecteur

Digitized by Google

spécial et les connexions des induits avec les circuits d'utilisation ne diffèrent pas de celles indiquées sur la figure 11.

Les figures 13 et 14 représentent deux vues schématiques d'une machine à deux induits D et E tournant dans un seul système inducteur constitué par les deux pôles N et S.

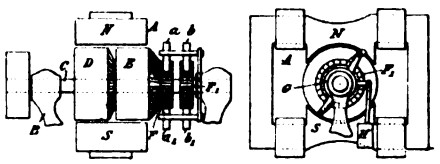


Fig. 13 et 14. — Vues d'une dynamo à double induit de la Compagnie Thomson-Houston (M. Green) pour distribution par arcs en deux séries avec différence de potentiel maxima réduite.

Il est à peine utile de faire remarquer qu'il n'est pas nécessaire que le nombre de lampes soit le même dans chaque circuit, une différence dans le nombre de lampes n'ayant pour effet que d'introduire des différences de potentiel entre les balais b_1, b_2, b_3 ou les balais b_4, b_5, b_6.

En somme le système de distribution de M. Green, tout en ayant au point de vue de l'isolation et des dangers les mêmes avantages que si les différents circuits étaient montés en parallèle jouit en même temps des avantages du réglage en série.

Les perfectionnements que MM. Veritys et J. J. Steele (1) apportent aux distributions à trois fils sont relatifs aux dispositifs de sécurité et ont pour effet de couper le circuit, soit lorsque la différence de charge entre les deux devient trop grande et où, par suite, la fusion du plomb fusible sur le conducteur neutre amènerait une tension exagérée sur le point le moins chargé, soit en cas d'un accident, tel que la mise à la terre d'un des conducteurs principaux.

Les dispositifs de sécurité imaginés par ces inventeurs sont au nombre de trois. Dans le premier (fig. 15) le réseau a est séparé des machines génératrices $m\,m$ par un interrup-

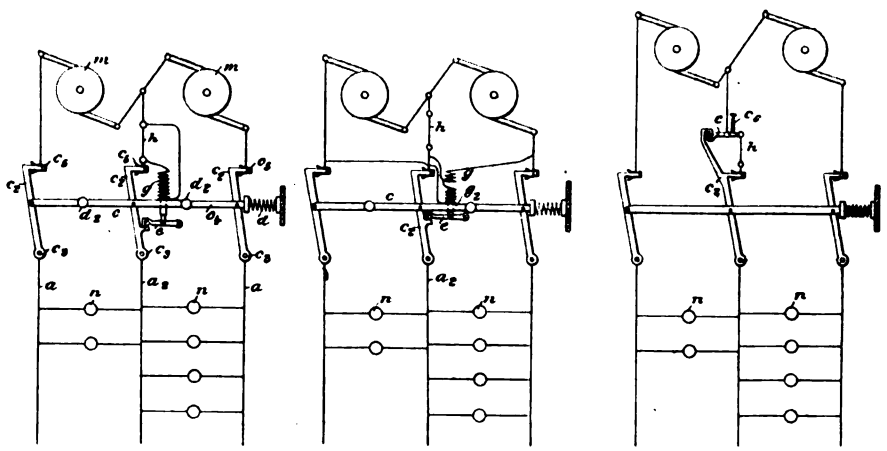


Fig. 15, 16 et 17. — Dispositifs de sécurité pour réseau à 3 fils de MM. Veritys et Steele.

teur triple qu'on manœuvre avec deux poignées d_2. Le levier de manœuvre est repoussé par un ressort d et est retenu par un taquet e articulé à son extrémité libre et fixé en son milieu à l'armature d'un électro-aimant g dont l'enroulement est monté en dérivation aux bornes du fusible h. La résistance de l'enroulement de l'électro doit être assez grande par rapport à celle du fusible pour que le courant traversant le premier soit très faible en temps normal. Si pour une cause quelconque, le fusible vient à fondre par suite d'un excès de cou-

(1) Brevet anglais, n° 16 360, 3 figures. Déposé le 28 juillet 1898, délivré le 2 juin 1899.

Digitized by Google

rant dans le fil compensateur, l'armature de l'électro est attirée et libère l'interrupteur, qui repoussé par le ressort *d* force les couteaux c_2 à abandonner les mâchoires c_5.

Le dispositif de la figure 16 diffère de celui de la figure 15 en ce que l'enroulement de l'électro-aimant n'est plus monté en dérivation aux bornes du fusible. L'électro-aimant porte ici un double enroulement dont chaque partie est montée en dérivation aux bornes de chacune des génératrices mais après le fusible *h*. Les deux enroulements sont naturellement bobinés en sens contraire de façon à ce que leurs effets sur l'armature soient opposés. Tant que la tension reste la même sur les deux points, l'armature ne se soulève pas, mais dès que la tension augmente d'une quantité suffisante sur l'un ou l'autre des deux circuits, l'armature est attirée et les circuits sont ouverts.

Le troisième dispositif (fig. 17) est un peu plus simple que les deux précédents, l'électro-aimant *g* étant supprimé et l'ouverture du circuit se faisant au moment de la fusion du coupe-circuit *h*. Dans ce but le taquet *e* qui retient l'interrupteur est maintenu en place par le plomb fusible lui-même tandis qu'un ressort *e* tend à le faire pivoter autour de son axe pour lui faire abandonner l'interrupteur, ce qui se produit toutes les fois que le coupe-circuit *h* vient à fondre par suite d'une différence trop grande entre les charges des deux points ou de la mise à la terre de l'un des conducteurs.

C. F. GUILBERT.

LES PROGRÈS DE L'ÉLECTRICITÉ EN 1899

Le physicien qui se serait endormi il y a dix ans et qui se réveillerait aujourd'hui à la science se trouverait probablement bien dépaysé ; même s'il n'avait rien oublié pendant son long sommeil, il constaterait qu'il lui faut apprendre bien des choses nouvelles pour être en mesure de lire les mémoires qui occupent la plus grande partie des périodiques scientifiques. Si, pour acquérir une vue rapide des progrès qu'a faits l'électricité depuis qu'il a cessé de les suivre, il jetait un coup d'œil sur les tables d'une revue telle que celle-ci, il serait sans doute fort étonné de s'apercevoir que la grande majorité des travaux qui n'ont pas pour but spécial les applications industrielles a trait à des questions qui n'existaient pas il y a dix ans ou dont, tout au moins, il n'était guère possible de prévoir le développement. Ce n'est pas en effet le caractère le moins curieux de la science actuelle dans ces dernières années et dans celle-ci que l'ardeur avec laquelle les travailleurs, délaissant les sentiers battus et les régions bien connues — qui souvent le sont si mal — se sont élancés en foule à la suite des illustres savants qui avaient ouvert des voies nouvelles et aperçu des domaines inexplorés. On ne saurait manquer d'être frappé de la différence des matières que traitent les ouvrages classiques vieux seulement de quelques années et des sujets qui donnent lieu le plus fréquemment aux recherches des savants. Pour quiconque veut savoir ce qui se passe dans les laboratoires, l'instruction vraiment utile commence aux expériences de Hertz, de Lénard, de Goldstein et de Rœntgen et, quant aux théories, celle que Maxwell a donnée des phénomènes électro-magnétiques n'est qu'un premier échelon qui serait bien insuffisant à nous hausser jusqu'à l'intelligence des discussions auxquelles se livrent les J.-J. Thomson ou les Lorentz, touchant la nature des rayons X ou la cause du phénomène de Zeeman.

L'étude des questions nouvelles et actuelles a-t-elle eu, à toute époque, cet attrait pas

Digitized by Google

sionnant qui fait oublier en sa faveur des questions auxquelles on ne peut reprocher que d'avoir été posées depuis plus longtemps? C'est ce que pourraient peut-être dire les savants qui ont pu, pendant de longues années, observer le cours des idées et leurs fluctuations ; pour le moment, contentons-nous de noter que la plus grande partie des travaux scientifiques de cette année se rapportent, dans le domaine qui nous intéresse, aux rayons X, aux radiations électro-magnétiques et à l'action du magnétisme sur la lumière et résumons d'abord les résultats obtenus dans ces trois ordres de recherches.

Le phénomène de Zeeman a continué à être l'objet de recherches qui ont complété et étendu cette belle découverte, mais en ont rendu en même temps l'explication plus difficile. M. Cornu est arrivé à cette conclusion que l'action du champ magnétique sur la période vibratoire des radiations d'une source lumineuse dépendrait non seulement de la nature chimique de la source, mais aussi de la nature du groupe de raies spectrales auquel appartient chaque radiation et du rôle qu'elle joue dans ce groupe. Dans une direction normale aux lignes de force, une raie spectrale deviendrait, non pas un triplet, comme on l'avait annoncé tout d'abord, mais un quadruplet, les deux raies externes étant polarisées parallèlement aux lignes de forces et les deux raies intermédiaires normalement à cette direction. En fait la raie centrale observée d'abord serait dédoublable, plus ou moins facilement, suivant les cas ; pour D_1 on voit très nettement quatre raies ; pour D_2 au contraire on ne peut pas affirmer que le dédoublement de la raie centrale se soit produit ; on observe des particularités analogues sur les raies du magnésium. M. Michelson, en étudiant de nombreuses sources au moyen de son réfractomètre, conclut que chacune des trois raies signalées d'abord par Zeeman est elle-même triple, les composantes polarisées perpendiculairement au champ occupant toujours les positions intermédiaires ; MM. Becquerel et Deslandres ont trouvé un cas où cette relation est renversée ; une des raies du fer s'élargit à peine quand on la regarde à travers un analyseur parallèle au champ, tandis qu'elle a dédoublé très notablement quand on l'observe dans un azimuth de polarisation perpendiculaire.

L'interprétation cinématique que M. Cornu avait donnée du phénomène de Zeeman a soulevé une discussion assez curieuse : M. Righi s'est demandé si les deux vibrations rectilignes et parallèles, de fréquences $N + n$ et $N - n$ qui, dans une des expériences, tombent sur la fente du spectroscope doivent être séparées par les prismes ou si, au contraire, elles doivent se confondre en une seule, de fréquences N avec $2n$ battements par seconde ; en d'autres termes, si l'on admet le dédoublement que suppose M. Cornu dans la flamme, subsiste-t-il tel quel à la sortie de l'appareil d'observation? M. Corbino a fait observer, très justement selon nous, que le rôle du prisme était précisément de séparer ces deux vibrations de fréquence distincte; il n'est peut-être pas inutile d'insister un peu sur ce point. L'opinion de M. Righi et la difficulté qu'elle soulèvera sans doute dans beaucoup d'esprits me semble avoir son origine dans une discussion insuffisante des principes sur lesquels repose la théorie de la propagation de la lumière et de la réfraction ou de la diffraction. Il ne faut pas oublier que le seul moyen de raisonner avec quelque rigueur sur ces matières délicates est de considérer uniquement un régime permanent constitué par le passage de vibrations rigoureusement sinusoïdales, et cela lorsque le temps varie de $-\infty$ à $+\infty$. Dans l'état actuel de l'optique c'est seulement pour ces trains d'ondes infinis aussi bien dans le temps que dans l'espace qu'on peut justifier les lois expérimentales ; toute vibration dont l'amplitude n'est pas constante ne peut pas être considérée comme simple ; elle doit être, par l'intermédiaire de l'*intégrale* de Fourier (et non de la série, qui ne s'ap-

Digitized by Google

plique qu'à un phénomène périodique dans le temps) représentée par un ensemble de vibrations exactement sinusoïdales sans commencement ni fin. Il est clair que, pratiquement, un mouvement lumineux qui dure seulement une seconde équivaut très sensiblement à un mouvement indéfini, puisqu'il comprend déjà des centaines de trillions de périodes, et qu'il se produira seulement une perturbation — jusqu'ici inappréciable — à l'origine et à l'extinction ; c'est ce qui justifie, au point de vue théorique, l'application aux expériences des lois connues. Mais on ne peut pas considérer comme constituant une vibration unique un mouvement sinusoïdal, même sans limite dans le temps, dont l'intensité ne serait pas constante ; un spectroscope le dédouble ou alors il nous faut abandonner complètement nos idées sur la constitution des mouvements lumineux.

Je ne m'éloigne pas autant que j'en ai l'air des sujets qui intéressent spécialement l'électricité en m'étendant sur cette question ; les électriciens qui s'occupent le plus spécialement d'industrie savent bien la différence qu'il y a entre le régime permanent et la période de début dans les courants alternatifs et qu'une force électromotrice, rigoureusement sinusoïdale, ne produit pas, lorsqu'elle commence, exactement les mêmes effets que quand l'appareil a fonctionné pendant un nombre de périodes suffisant. D'ailleurs la résolution d'une fonction quelconque en une intégrale d'éléments sinusoïdaux joue un rôle dans les considérations que MM. J.-J. Thomson, lord Rayleigh et Stoney ont développées récemment touchant la nature des rayons X. Si l'on considère, avec M. J.-J. Thomson, que les rayons cathodiques sont constitués par des particules chargées, les rayons X ne seront autre chose que la perturbation électro-magnétique qui se propage à partir du moment où a lieu le choc, jusqu'à l'arrêt définitif dans le métal anticathodique ; cette perturbation pourra être représentée comme un ensemble de mouvements lumineux de très courte période ; la question de savoir si les rayons X sont ou non de la lumière n'a plus de sens ; ce qu'il faut savoir seulement c'est pourquoi les propriétés spéciales de ces rayons sont connexes de la valeur excessivement élevée de la fréquence.

La similitude analytique des questions m'a entraîné sur le domaine des rayons X avant que j'aie fini de parler des phénomènes magnéto-optiques. Nous avons encore à enregistrer cette année une découverte qui paraît avoir une grande importance. MM. Macaluso et Corbino ont observé que, si l'on fait passer un rayon de lumière polarisé à travers une flamme absorbante placée dans un champ magnétique, le plan de polarisation primitif subit, au voisinage des raies d'absorption, une rotation considérable, qui croît progressivement à mesure qu'on s'approche des raies et atteint 270° sur leur bord dans le cas des raies D. M. H. Becquerel a établi une relation intéressante entre cet accroissement anormal du pouvoir rotatoire magnétique et la dispersion anormale qu'il a mise en évidence par la méthode des prismes croisés, au voisinage de chacune des raies d'absorption, l'un des prismes étant constitué par la flamme elle-même, amenée à une forme convenable, et l'autre étant remplacé par un réseau. Il a constaté l'influence déjà signalée par M. Cotton dans le cas du phénomène de Zeeman, de la complexité de la flamme sur les résultats observés.

M. Righi est parvenu le premier à mettre en évidence le phénomène de Zeeman, ou tout au moins un état de polarisation particulier, avec les bandes de peroxyde d'azote ; les spectres de raies avaient seuls paru sensibles jusqu'ici au champ magnétique, l'expérience n'avait réussi que dans un champ parallèle aux rayons lumineux ; M. Cotton l'a faite dans un champ perpendiculaire en prenant la précaution d'incliner à la fois les sections principales du polariseur et de l'analyseur sur le champ ; l'intérêt de cette seconde forme de l'expérience est d'isoler uniquement l'effet Zeeman à l'exclusion des effets de polarisa-

Digitized by Google

tion rotatoire magnétique qui, dans l'expérience de M. Righi, peuvent jouer un rôle notable dans les apparences observées.

Si nous ajoutons les travaux de M. Preston, qui a distingué les raies suivant les *séries* (de Kayser et Runge et de Rydberg) auxquelles elles appartiennent, et qui est arrivé à une loi importante, nous aurons dit à peu près tout ce qu'il y a d'important au point de vue expérimental, sur la question du phénomène de Zeeman, que M. A. Cotton vient d'exposer avec beaucoup de clarté, dans un petit livre de la collection *Scientia* (1).

Je reviens aux rayons X et j'en finis avec eux en enregistrant les résultats de M. Child à qui l'étude électrométrique a montré que le champ d'un condensateur se trouve profondément modifié par le passage des rayons Rœntgen ; M. Sagnac a montré toute l'importance du rôle que joue ce fait dans la décharge des conducteurs par ces rayons et aussi comment l'existence des rayons secondaires qu'il a découverts explique certaines particularités de la répartition du potentiel.

L'étude théorique du phénomène de Zeeman, qui s'explique par l'existence d'*ions* dans la flamme, la suite des recherches relatives aux rayons cathodiques, aux rayons X et aux radiations uraniques, qui ont conduit Mme et M. Curie à la brillante découverte de deux métaux rendent pressantes les questions qui se posent relativement aux particules élémentaires chargées d'électricité. Que sont ces particules ? Sont-ce des atomes ou des molécules, ou de la matière dans un état de division poussé encore plus loin ? M. J.-J. Thomson a cherché d'abord à déterminer leur vitesse et la charge par unité de masse ; il a employé deux méthodes : dans la première il mesure : 1° la quantité d'électricité transportée par les particules ; 2° la quantité de chaleur dégagée par l'anéantissement de leur force vive dans la rencontre d'une paroi solide ; 3° la courbure de leur trajectoire dans un champ magnétique déterminé. Ces trois quantités s'expriment en fonction du nombre des particules, de leur charge, de leur force vive et de leur vitesse ; en éliminant le nombre des particules on peut calculer la vitesse et le rapport $\frac{m}{e}$ de la masse à la charge de l'une d'elles.

Dans une autre méthode on mesure les déviations subies respectivement par les rayons dans un champ électrostatique et dans un champ magnétique. Ce second procédé fournit des résultats d'une concordance inattendue ; pour la vitesse on a trouvé 7 nombres variant de $2{,}2.10^9$ à $3{,}6.10^9$; pour le rapport $\frac{m}{e}$, on a des nombres oscillant entre $1{,}1.10^{-7}$ et $1{,}5.10^{-7}$. La première méthode donnait des résultats beaucoup plus variables, mais exactement du même ordre de grandeur ; le quotient $\frac{m}{e}$ toujours plus petit que les chiffres précédents, descendait seulement jusqu'à $0{,}35.10^{-7}$; la moyenne des vitesses était sensiblement la même dans les deux cas.

Dans des expériences indépendantes effectuées suivant la seconde méthode, M. Wien et M. Lenard ont trouvé des vitesses un peu plus grandes qui, au lieu d'être de l'ordre du dixième de celle de la lumière, montaient jusqu'au tiers de ce nombre. Pour le rapport $\frac{m}{e}$, M. Lenard trouve 10^{-7} et M. Kauffmann $0{,}51.10^{-7}$; il résulte de là que la masse qui transporte l'unité d'électricité C. G. S. est beaucoup plus petite dans le cas des rayons cathodiques que dans celui de l'électrolyse, puisqu'elle est 10^{-4} pour l'ion hydrogène ordinaire. La nature chimique du gaz qui remplissait les tubes avant qu'on y fasse le vide ne semble pas avoir d'influence, ce qui est d'accord avec la conclusion que M. Villard a tirée

(1) A ce propos, je crois devoir mentionner, dans la même collection, l'apparition d'un opuscule de M. Maurain sur le magnétisme ; c'est, à ma connaissance, le premier ouvrage français où l'on puisse se renseigner d'une façon un peu complète sur les progrès récents du magnétisme.

Digitized by Google

d'une très belle étude sur les rayons cathodiques, à savoir que les particules électrisées sont toujours constituées par de l'hydrogène. J'insisterai tout particulièrement sur l'intérêt que présente ce travail ; je ne pense pas qu'on puisse m'accuser de méconnaître l'intérêt que présentent, à l'heure actuelle, les considérations basées sur la théorie des ions, auxquelles je consacre ici une si large place, mais la complication de leurs développements leur enlève l'avantage sur des travaux comme celui-ci, dans lesquels un grand nombre d'expériences claires conduisent, sans calculs, à des conséquences qui, pour être simplement qualitatives, n'en sont que plus solidement établies.

Si nous passons aux ions mis en liberté par les rayons X ou la lumière ultra-violette nous trouvons des résultats encore plus complets, dont la comparaison avec les précédents est pleine d'intérêt ; on a pu déterminer séparément la masse et la charge des particules.

La méthode est basée sur la remarque suivante : le courant qui va de l'une à l'autre des armatures d'un condensateur chargé entre lesquelles passent des rayons X a pour intensité le produit d'un certain nombre d'ions par leur charge et leur vitesse. La vitesse peut se mesurer par plusieurs procédés ; le plus simple consiste à ne laisser pénétrer les rayons X que dans une moitié de la lame d'air qui sépare les armatures et de déterminer au bout de combien de temps un électromètre relié à l'armature en contact avec la partie protégée commence à se décharger (il s'agit, bien entendu, d'une fraction de seconde). M. Rutherford a obtenu, par ce procédé, le nombre 3,2 cm par seconde pour la somme des vitesses des deux ions dans l'air, dans un champ d'un volt par centimètre. On obtient des nombres variant entre celui-ci et 1 pour différents gaz : azote, oxygène, acide carbonique, acide chlorhydrique, chlore, anhydride sulfureux ; l'hydrogène donne 10,4 cm.

Si la vitesse des deux ions était la même, la moitié de ces nombres représenterait la vitesse de chacun d'eux; en fait, une étude plus complète du phénomène, reprise par M. Zeleny, a montré que les vitesses des deux ions sont différentes. La méthode consiste à employer comme armatures des toiles métalliques à travers lesquelles on fait passer un courant d'air de vitesse telle que l'une d'elles conserve exactement sa charge ; à ce moment le courant d'air entraîne tous les ions qui tendraient à venir neutraliser la charge de la plaque ; sa vitesse est donc égale à celle des ions. Il y a quelque difficulté à ramener le nombre observé à ce qu'il serait dans un champ entièrement uniforme entre les condensateurs ; toutefois la variation du champ causée par le passage des rayons X entraîne une dissymétrie assez faible pour qu'on puisse résoudre complètement la question. M. Zeleny a trouvé que les ions négatifs vont en général plus vite que les ions positifs ; le rapport des vitesses de 1,24 pour l'air. L'acide carbonique et l'acétylène qui donnent respectivement 1 et 0,985 sont les seuls des neuf gaz étudiés pour lesquels le rapport de la vitesse négative à la vitesse positive ne soit pas supérieur à l'unité.

Dans un travail tout récent, M. Chattock a étudié le mouvement des ions qui s'échappent d'une pointe chargée ; il a trouvé deux vitesses respectivement égales à 413 et 540 dans un champ d'une unité électrostatique C. G. S. La somme des deux nombres est 953 (la valeur de M. Rutherford donnerait 960) et leur rapport 1,31. Il semble donc établi que les ions qui accompagnent le vent électrique sont de même nature que ceux que mettent en liberté les rayons de Rœntgen.

Pour aller plus loin, M. J.-J. Thomson a utilisé un fait découvert par M. Wilson : les ions produits par les rayons Rœntgen forment des noyaux autour desquels se condense la vapeur contenue dans un air purgé de poussières quand la sursaturation atteint un degré déterminé.

Pour trouver le nombre d'ions produit par la lumière ultra-violette dans un centimètre

Digitized by Google

cube d'air on refroidit cet air par une dilatation brusque jusqu'à ce que la sursaturation causée par le refroidissement suffise à former un nuage autour des ions ; il faut alors trouver le nombre de gouttes qui se sont condensées par centimètre cube. On peut déterminer d'abord le poids total d'eau qui s'est formé ; on calcule le diamètre des gouttes d'après la vitesse de leur chute dans l'air, au moyen d'une formule qui contient le coefficient de viscosité de l'air.

Le poids d'eau condensé se déduit du rapport des valeurs du volume avant et après la diminution de pression et de la température initiale. D'après M. J.-J. Thomson, la masse électrique attachée à chaque ion négatif de l'air serait $7{,}3.10^{-10}$ C. G. S. éls. D'autres expériences ont fourni des nombres très voisins pour la quantité d'électricité portée par les ions mis en liberté sur un métal électrisé par la lumière ultra-violette et aussi pour les ions cathodiques, dont M. J.-J. Thomson dans un nouveau travail est parvenu à déterminer la charge par l'étude de leur trajectoire dans un champ magnétique.

Voici donc trois espèces d'ions *négatifs* qui semblent porter des charges égales; il reste à expliquer pourquoi leur masse, dans le cas des rayons cathodiques, est beaucoup plus faible que celle que l'on calcule pour les ions électrolytiques, tandis qu'il y a à peu près coïncidence pour les ions mis en liberté par les rayons Rœntgen.

Je me suis laissé entraîner sur ce sujet intéressant, qui mériterait d'être développé ; je n'ai même pas cité tous les travaux importants, parmi lesquels celui de M. Townsend, qui a confirmé les résultats de M. J.-J. Thomson par des méthodes différentes, mérite une mention spéciale. En terminant ici ce qui est bien loin d'être, comme son nom l'indiquerait, un inventaire systématique des résultats obtenus cette année dans les diverses branches des recherches scientifiques, je me console d'avoir été infidèle à mon programme en pensant que j'aurai peut-être réussi à appeler l'attention de quelques lecteurs sur des expériences qui semblent commencer à former la base d'un corps de doctrines destiné à relier solidement l'ensemble des faits nouveaux que nous ont apportés les découvertes de ces dernières années.

C. Raveau.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION DE L'ÉLECTRICITÉ

Appareil Kermode pour le chauffage des chaudières à vapeur. *Engineering*, t. LXVIII, p. 626, 17 nov. 1899; *Revue Industrielle*, t. XXX, p. 502, 23 déc. 1899.

Dans la plupart des appareils imaginés en vue du chauffage au pétrole, le liquide combustible est pulvérisé au moyen d'un jet de vapeur et injecté sous la forme d'une pluie fine dans le foyer. Dans l'appareil Kermode la pulvérisation est produite par un jet d'air comprimé. Ce dernier procédé de pulvérisation présente sur le premier l'avantage d'être plus économique, la dépense de combustible nécessaire à la compression de l'air étant environ moitié moindre que celle nécessaire à la production de la vapeur utilisée pour la pulvérisation ; en outre, la combustion complète du pétrole est plus facilement obtenue.

Le combustible liquide, emmagasiné dans un réservoir placé à quelques mètres au-dessus du foyer, s'écoule par son propre poids dans le pulvérisateur. D'autre part de l'air, comprimé par une pompe spéciale et porté à une température élevée par son passage dans un tube faisant le tour du foyer, arrive également au pulvérisateur. Celui-ci se compose d'une tuyère conique à l'intérieur de laquelle se trouvent deux tubes

Digitized by Google

manœuvrables à l'aide de crémaillères et de pignons dentés et qui servent à régler l'admission du liquide et de l'air ; suivant l'axe est située une aiguille mobile, en forme d'hélice, qui assure un mélange intime du combustible et de l'air pendant le trajet vers l'ajutage de sortie.

Des essais faits dans le courant de septembre dernier avec de l'huile de Bornéo brute, contenant 11,75 p. 100 d'eau et d'une puissance calorifique de 8830 calories, ont montré qu'un kilogramme de cette huile permet de vaporiser environ 11 kg d'eau, la pression étant de 7,8 kg : cm² ce qui correspond à 12,8 kg d'eau prise à 0° et amenée à l'état de vapeur à 100° C. D'autres essais effectués avec du pétrole dit « astatki » d'une puissance calorifique de 10240 calories ont indiqué une vaporisation de 15,5 kg d'eau prise à 0° et amenée à l'état de vapeur à 100° C par kilogramme de combustible.

Quelques expériences pour l'étude de la circulation de l'eau dans les chaudières, par **Ch. Bellens**. *Revue de Mécanique*, t. X, p. 484-489, novembre 1899.

L'auteur a cherché à établir expérimentalement et par mesures directes l'influence du diamètre des tubes sur la circulation de l'eau dans les chaudières à tubes d'eau.

L'appareil employé se compose de deux tubes de verre verticaux de 120 cm de long, réunis en bas par un tube horizontal et dont les extrémités supérieures aboutissent au fond d'un vase cylindrique. Ce vase et les tubes sont remplis d'eau. A la partie inférieure de l'un des tubes, que nous appellerons le tube de montée, sont placées des sphères légères en verre creux ou en liège ; ces sphères sont destinées à jouer le rôle des bulles de vapeur ; une tige horizontale que l'on manœuvre de l'extérieur, permet de les maintenir au bas du tube et de les abandonner. A la partie supérieure de l'autre tube, le tube de descente, est maintenue par une tige verticale, une sphère creuse en ébonite ayant une densité égale à celle de l'eau. Les sphères légères provoquent en s'élevant dans le tube de montée, un mouvement de l'eau qui se propage dans le tube de descente et entraîne la sphère contenue dans ce tube. En notant les instants où les sphères légères passent successivement devant deux repères, distants de 100 cm, tracés au bas et au haut du tube de montée, on a leur vitesse d'ascension ; en notant ceux où la sphère de même densité que l'eau passe devant des repères tracés à la partie supérieure du tube de descente, on a la vitesse de circulation de l'eau dans ce tube.

Trois séries de mesures comprenant 720 expériences ont été faites successivement avec des tubes ayant respectivement 19,5 mm, 24 mm et 34 mm de diamètre. Chaque série comprenait plusieurs groupes d'expériences, différant soit par la nature des sphères légères employées, soit par le nombre des sphères s'élevant en même temps.

On a trouvé ainsi que pour un même tube la vitesse de circulation est d'autant plus grande que les sphères légères ont une densité moindre c'est-à-dire une plus grande vitesse d'ascension ; qu'elle augmente avec le nombre des sphères qui s'élèvent en même temps mais beaucoup moins vite que le nombre des sphères ; enfin que lorsqu'on prend des tubes de diamètres de plus en plus grands, les autres conditions étant les mêmes, la vitesse de circulation décroît.

De ces résultats M. Bellens conclut que pour activer la circulation de l'eau dans les chaudières à tubes d'eau, il convient de répartir le dégagement des bulles gazeuses en un grand nombre de tubes, afin de diminuer le volume de vapeur présent par unité de volume, et, en outre il faut donner à ces tubes une petite section.

Il déduit en outre de la discussion de l'ensemble des faits observés les deux conséquences suivantes :

1° L'opinion courante, d'après laquelle la circulation de l'eau dans les tubes de retour est d'autant plus rapide que l'intumescence produite au plan d'eau par le dégagement des bulles de vapeur est accusée, est erronée. En effet, plus l'intumescence est accentuée, plus la vitesse relative des bulles de vapeur par rapport à l'eau est grande et par conséquent plus est grande la force vive que possèdent ces bulles ; or, plus est grande cette force, plus faible est la portion d'énergie disponible pour produire le mouvement de l'eau dans le retour.

2° Même en considérant un grand nombre de bulles présentes en même temps, la puissance qui produit la circulation dans une chaudière est extrêmement petite. Comparée à la quantité d'énergie contenue dans la chaudière, elle est d'ordre infinitésimal. Par suite on s'explique combien facilement les influences thermiques peuvent renverser l'ordre des phénomènes et

Digitized by Google

créer une pression là où une dépression est nécessaire pour assurer la régularité et le sens du mouvement de circulation. T. P.

Essais d'un groupe électrogène pour traction de 300 kilowatts, par Edward **Willis**. *Industries and Iron*, t, XXVII, p. 395, 15 décembre; Mémoire lu à l' « American Institute of Electrical Engineers ».

Ces essais qui datent du 30 mars 1897, ont été faits sur un groupe électrogène de la Richmond Traction Company formé par : 1° une chaudière Campbell et Zill, à tubes d'eau, de 300 chevaux, de 270 m² de surface de chauffe; 2° un moteur Hower, Owens et Rentschler, horizontal, compound tandem, à condensation, faisant 100 tours par minute ; 3° une dynamo General Electric Company, type traction, à 6 pôles, de 300 kilowatts.

La variation de la charge était produite au moyen d'un rhéostat à solution étendue de soude. Les mesures électriques étaient faites à l'aide d'un ampèremètre et d'un voltmètre Weston. La quantité d'eau évaporée était mesurée par un compteur Worthington à eau chaude. Toute la vapeur produite par la chaudière était utilisée par le moteur, la pompe d'alimentation et celle du condenseur étant actionnées par une autre chaudière. Des diagrammes étaient relevés toutes les 15 minutes aux deux extrémités de chaque cylindre du moteur; en même temps on faisait les lectures des divers appareils de mesure. Les essais durèrent quatre heures ; une heure à chacune des intensités de 200, 300, 400 et 500 ampères ; on ne put faire d'essai avec une charge de 600 ampères, la température de la dynamo s'étant trop élevée.

Les résultats de ces essais sont résumés dans le tableau suivant :

	CHARGES			
	200 ampères	300 ampères	400 ampères	500 ampères
Puissance : chevaux indiqués	216	399	373	469
— chevaux électriques	146	220	393	369
— kilowatts	110	164	219	275
Poids réel d'eau vaporisée par kg de charbon	10,05 kg	10,8 kg	8,94 kg	8,57 kg
Poids d'eau vaporisée de 100° à 100° par kg de charbon	10,71 »	10,75 »	9,53 »	9,18 »
Charbon : par cheval-heure indiqué	0,65 »	1,64 »	0,69 »	0,75 »
— par cheval-heure électrique	0,99 »	0,88 »	0,89 »	0,95 »
— par kilowatt-heure	1,30 »	1,17 »	1,18 »	1,27 »
Vapeur par cheval-heure indiqué	6,66 »	6,75 »	6,20 »	6,40 »
— par cheval-heure électrique	9,88 »	9,88 »	7,83 »	8,10 »
— par kilowatt-heure	13,02 »	12,70 »	10,62 »	10,85 »
Rapport de la puissance indiquée à la puissance électrique	0,68	0,74	0,79	0,79

On voit par ces chiffres que la marche la plus économique est celle qui correspond à une intensité de courant de 400 ampères, soit à une charge de 220 kilowatts-heure environ.

TRACTION ÉLECTRIQUE

Tramways électriques de Boulogne-sur-Mer.

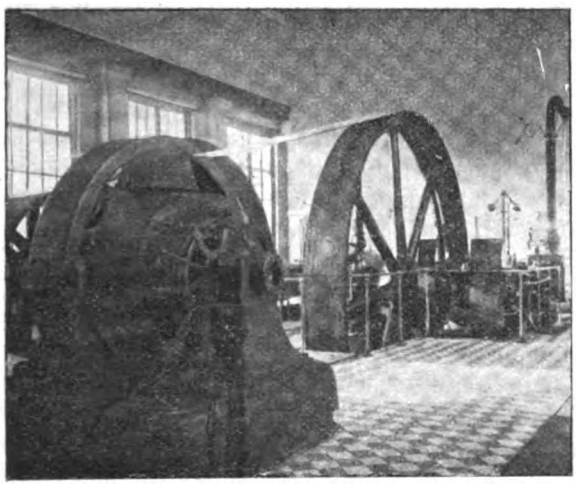
Inauguré dans le courant de l'année qui vient de s'écouler et installé, pour tout ce qui concerne la partie électrique, par la compagnie Thomson-Houston, le réseau des tramways de Boulogne, montre une fois de plus les avantages économiques de l'application de l'électricité à la traction dans les villes où le terrain est accidenté.

La station génératrice édifiée, faute d'avoir pu trouver un emplacement plus central, à une des extrémités de la ville, contient trois dynamos hexapolaires hypercompound à induits bobines en tambour du type Thomson-Houston (fig. 1); chacune d'elles donne 150 kilowatts à la vitesse angulaire de 450 t:m. Elles sont accouplées par courroies à trois machines Garnier et Faure-Beaulieu, de Paris, du type Corliss et pouvant donner 300 chevaux. Ces machines sont à simple

Digitized by Google

détente avec réfrigérant du système Bohler et marchent à la vitesse angulaire de 85 t : m sous une pression de 7 kg : cm²; les dimensions du cylindre sont : diamètre 46 cm, longueur de course 108 cm.

Du tableau de distribution (fig. 2) partent



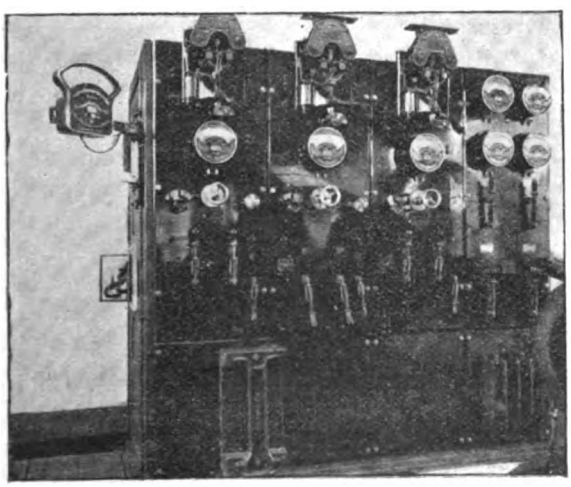


Fig. 1 et 2. — Groupe générateur et tableau de distribution de l'usine des tramways de Boulogne.

trois feeders : l'un aérien, de 100 mm² de section, constitué par deux fils de trôlet, les deux autres souterrains de 350 mm² de section. Le fil de trôlet est en cuivre dur de 25,5 mm de diamètre ; il est double sur les lignes à voie simple où le trafic est assez important, de manière à éviter l'emploi d'aiguilles aériennes ainsi que d'augmenter la section des conducteurs. Le retour se fait par les rails ; la continuité est assurée par des connecteurs du type Chicago, de 9,4 mm de diamètre, employés par paire à chaque joint ; de plus une connexion transversale relie entre eux les rails tous les 30 mètres.

Les voitures sont munies de deux moteurs GE-58 de 35 chevaux réglés au moyen de deux combinateurs série-parallèle K-10. Deux interrupteurs généraux, dont l'un automatique, et un coupe-circuit fusible protègent les moteurs. Ces voitures pèsent 8,5 tonnes à vide ; en raison des pentes exceptionnelles (95 et 100 mm par m) que l'on rencontre sur certaines lignes, elles sont munies de quatre systèmes de freinage : frein à sabots, frein à patins prenant appui sur les rails, frein électrique par mise en court-circuit des moteurs, enfin renversement du courant.

La longueur du réseau est de 9,6 km ; le nombre des voitures, y compris celles de réserve est de 25. Le service d'été a été assuré par 19 voitures qui, pendant le mois de septembre, ont parcouru 61695 km.

Pendant ce même mois l'usine a fourni 47350 kilowatts-heure avec une consommation de charbon de 137 tonnes. Il résulte de ces chiffres que la consommation d'énergie par voiture-kilomètre est de 767 watts-heure et la consommation de charbon par kilowatt-heure de 2,889 kg. Le prix moyen de la tonne de charbon étant de 21 fr. (19 fr. pour les charbons anglais et 23 fr. pour les charbons français) la dépense en combustible par kilomètre-voiture revient donc à 2,8 centimes environ. Il est à remarquer que la consommation de charbon par kilowatt-heure est relativement élevée ; cependant d'après des essais effectués à l'usine, la consommation théorique des machines, c'est-à-dire à charge constante et maximum est seulement de 1,750 kg. La différence considérable des deux chiffres ne peut être attribuée qu'à la variation continuelle de la charge, l'intensité du courant sautant souvent de 0 à 200 ampères ; elle paraît indiquer qu'il y aurait économie à employer une batterie tampon.

Connecteur de rails Boult. — Brevet anglais n° 13526, déposé le 29 juin 1899, accepté le 12 août 1899.

Ce connecteur est formé d'un câble de fil de cuivre 8 (fig. 1 et 2) aux extrémités duquel sont fixées, par soudure ou par compression à la presse hydraulique, des pièces métalliques 7 por-

Digitized by Google

tant des têtes circulaires que l'on enfonce dans les trous des rails à connecter. Le perfectionnement revendiqué par l'inventeur consiste en la formation d'un bourrelet *a* vers le milieu du

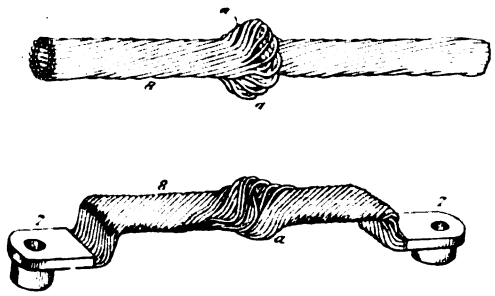


Fig. 1 et 2. — Connecteur de rails Boult.

câble par une distorsion de ce câble ; la formation de ce bourrelet rend le connecteur plus flexible et lui permet de s'allonger et de se raccourcir sous l'influence des variations de la température. J. R.

Appareils pour essais de la résistance des joints de rails. *Street Railway Journal*, t. XX, p. 893 et 895, décembre 1899.

Deux dispositifs, légèrement différents, sont employés, l'un sur le réseau de Boston, l'autre sur le réseau de Saint-Louis, pour mesurer la résistance des joints de rails.

Le premier, imaginé par M. R.-W. Conant, ingénieur de la Boston Elevated Railway Company et construit par la Chase-Shawnut C° de Boston, se compose de trois cannes terminées inférieurement par des pointes d'acier, d'un téléphone, d'un commutateur à trois directions, de trois conducteurs souples joignant les pointes des cannes aux plots du commutateur et enfin d'un interrupteur tournant.

Pour effectuer un essai, un opérateur appuie les pointes de deux des cannes en A et B (fig. 1) vers les extrémités de deux rails consécutifs, séparés par le joint J à essayer, les pointes étant

Fig. 1.

distantes d'environ 90 cm. Un second opérateur pose la pointe de la troisième canne en C à une distance de B un peu supérieure à 90 cm, met en mouvement l'interrupteur rotatif et tourne le commutateur de manière à mettre le téléphone, qu'il tient appliqué contre son oreille, successivement en circuit avec A et B, puis avec B et C. Les rails étant traversés par le courant de retour, la membrane téléphonique entre en vibration sous l'influence du courant dérivé par A et B dans le premier cas et par B et C, dans le second. La résistance entre A et B étant, à cause de la résistance introduite par le joint, plus grande que la résistance entre B et C, le son produit par le courant dérivé en A et B est plus intense que celui qui est produit par le courant dérivé en B et C. Le second opérateur déplace alors la canne qu'il tient jusqu'à ce que les deux sons lui paraissent de même intensité. Quand il a obtenu ce résultat il place la manette du commutateur sur un troisième plot connecté au téléphone et aux pointes des cannes de manière que les deux courants dérivés soient en opposition ; si ces deux courants ont des intensités égales, le téléphone reste muet. S'il n'en est pas ainsi, l'opérateur cherche par tâtonnement en quel point C' il doit placer la pointe de sa canne pour que la membrane téléphonique ne vibre plus. La différence des distances BC' et AB donne la longueur du rail dont la résistance est égale à celle du joint essayé.

Ces diverses opérations s'effectuent, avec un peu d'habitude, avec une très grande rapidité et pendant le fonctionnement même du réseau. Les variations d'intensité du courant de retour n'ont pas d'influence sur les résultats des mesures, puisque dans le dernier essai de chaque joint les deux courants dérivés sont en opposition et s'équilibrent constamment quelles que soient les variations simultanées des différences de potentiel entre A et B et entre B et C'.

Le second appareil, imaginé par M. Ch-J. Schnaus, ingénieur de la Missouri Railroad Company de Saint-Louis, diffère du précédent par des détails de construction et par le remplacement du téléphone par un voltmètre dont l'échelle est divisée en dixièmes de volt. Ce voltmètre est placé sur une planchette fixée sur un support en bois en forme de ⊥ ; la traverse inférieure porte les deux pointes d'acier A et B distantes de 90 cm. La troisième pointe C est portée par une canne que l'on déplace sur le rail ; un cordon souple enroulé sur un tambour avec ressort tendeur la relie à la traverse et au voltmètre ; des repères tracés sur ce cordon permettent d'évaluer immédiatement la distance BC. Un commutateur à deux directions permet de mettre le voltmètre

Digitized by Google

sur le circuit dérivé en A et B et sur le circuit dérivé en B et C. On déplace la canne jusqu'à ce que le voltmètre donne la même indication dans les deux cas et on lit immédiatement sur le cordon souple et tendu la longueur de rail BC' — AB dont la résistance est égale à celle du joint.

Cet appareil semble être d'un usage plus commode que le précédent ; d'après les essais faits à Saint-Louis, deux hommes peuvent en une journée essayer 3 200 m de voie double formée de rails de 6 m, c'est-à-dire essayer 1 420 joints.

ÉLECTROCHIMIE

Diaphragme poreux J.-T. Holland et A.-P. Laurie pour électrolyse. Brevet anglais n° 5200, déposé le 22 août 1899, accepté le 23 septembre 1899.

Généralement les diaphragmes poreux à base de ciment sont fabriqués en additionnant le ciment de matériaux poreux grossièrement pulvérisés ou bien en y mélangeant des substances solubles qui, en se dissolvant, rendent le ciment poreux. Suivant les inventeurs on obtient des résultats bien meilleurs en prenant un mélange de ciment et d'une matière non soluble mais volatile à une température peu élevée. Après la prise du mélange, additionné d'eau, dans des moules de forme convenable, on chauffe les pièces obtenues dans un four pour chasser la matière volatile.

L'anthracine ou la naphtaline, employées dans la proportion de un cinquième pour quatre cinquièmes de ciment, permettent de fabriquer par ce procédé des diaphragmes extrêmement poreux.

Procédé Freeman pour la fabrication continue du carbure de calcium. *Industries and Iron*, t. XXVI, p. 393, 15 décembre 1899.

Deux électrodes en charbon aboutissent au milieu d'un creuset en terre réfractaire placé dans un fourneau. L'électrode supérieure est percée de part en part d'un canal axial par lequel on fait tomber dans l'arc un mélange pulvérulent de 60 parties de chaux ordinaire et de 40 parties de coke. Le carbure de calcium se produit et coule d'une manière continue.

Des essais faits au laboratoire de l'Armour Institute de Chicago auraient montré que le prix de revient de la tonne de carbure est, par ce procédé, inférieur à 280 fr.

Procédé électrolytique Lyte pour la déshydratation du chlorure de zinc. Brevet anglais n° 11190, déposé le 5 mai 1897, accepté le 26 mars 1898.

Lorsqu'on soumet du chlorure de zinc fondu à l'électrolyse en vue d'en retirer le zinc il convient de prendre du chlorure anhydre ; avec du chlorure imparfaitement privé d'eau il se produit une série d'explosions dues à des recombinaisons au sein de la masse liquide de l'oxygène et de l'hydrogène mis en liberté par l'électrolyse.

Mais le chlorure de zinc étant très hygrométrique, sa dessication complète est difficile à obtenir. Une évaporation, même prolongée, ne suffit pas ; il faut maintenir pendant longtemps le sel fondu en contact avec du zinc métallique à une température élevée. D'après M. Farnham Maxwell Lyte, on obtient une déshydratation plus rapide par électrolyse entre une anode en zinc fondu et une cathode en charbon, en cuivre ou en toute autre matière conductrice moins fusible que le zinc. L'anode en zinc est oxydée et l'oxyde se dissout dans le chlorure ; l'hydrogène se dégage sur la cathode.

ONDES HERTZIENNES (1)

Recherches sur la dispersion électrique de quelques acides organiques et éthers et de dix variétés de verre, par **K. F. Löwe.** *Wied. Ann.*, t. LVXI, p. 390-410 et 582-596, nov. et déc. 1898.

Löwe a étudié comparativement par la méthode de Nernst et par celle de Drude le pouvoir inducteur spécifique de différentes sortes de verre et de plusieurs éthers-sels.

L'appareil de Nernst permet de déterminer les pouvoirs inducteurs correspondant à des périodes supérieures à 10^{-7} sec ; celui de Drude permet d'effectuer cette détermination pour les périodes inférieures à 10^{-8} sec.

(1) Les principales théories par lesquelles on a cherché à relier les phénomènes de la dispersion des ondes électromagnétiques et ceux de la dispersion des ondes lumineuses ont été résumées dans leurs traits essentiels par un article de ce journal (Barbillion, Sur les rapports de la dispersion des ondes électromagnétiques avec celle des ondes lumineuses : *L'Éclairage Électrique*, t. XiX, p. 246, mai 1899). Vers la même époque et plus récemment ont paru plusieurs mémoires dans les *Wiedemanns Annalen*, qui apportent une nouvelle contribution à l'étude expérimentale de la dispersion ; nous analysons ici quelques-uns d'entre eux. M. Lamotte.

Digitized by Google

Löwe a cherché à vérifier la formule de Drude

$$x = \operatorname{tg} \frac{1}{2} \varphi.$$

où

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\varepsilon} \sqrt{(\varepsilon_\infty - \varepsilon)(\varepsilon - \varepsilon_0)}$$

qui relie le coefficient d'absorption x aux pouvoirs inducteurs ε_∞ (oscillations lentes), ε (oscillations rapides), ε_0 (carré de l'indice de réfraction lumineuse). Les éthers de l'acide benzoïque et des acides gras ne possèdent ni dispersion électrique anomale, ni pouvoir absorbant appréciable. Le pouvoir inducteur des éthers éthyliques de l'acide aconitique $C^3H^3(CO^2C^2H^5)^3$ et de l'acide benzalmalonique $C^6H^5CH = C(CO^2C^2H^5)^2$ qui varie avec la température d'une manière anormale, quand on l'étudie avec des oscillations rapides (Drude), varie normalement quand on emploie les oscillations lentes. Le verre a été étudié par la méthode de Starke, appliquée à l'appareil de Nernst et à celui de Drude. Des dix espèces de verre d'Iéna sur lesquelles ont porté les mesures, toutes sauf une, ont présenté une absorption anormale, qui, pour certaines, était du reste assez peu accusée.

Si on tient compte, en écrivant les équations des ondes dans le condensateur, de la conductibilité du milieu qui sépare les armatures, l'équation obtenue pour représenter la propagation diffère de l'équation relative à des armatures parfaitement isolées seulement en ce que ε est remplacé par l'expression complexe $\varepsilon - 4\pi\tau\sigma^2\sqrt{-1}$; τ représente la période et σ la conductibilité spécifique.

Löwe discute ces équations pour le cas que présente l'expérience de Starke, celui d'une lame complexe formée de deux milieux différents, séparés en trois lames par des plans parallèles aux armatures. Cette discussion conduit aux conséquences suivantes :

Le pouvoir inducteur ε_σ d'une lame complexe formée de r parties d'un diélectrique conducteur (σ'_2, ε_2) et de $(1 - r)$ parties d'un autre diélectrique conducteur (σ'_1, ε_1) est plus grand que le pouvoir inducteur ε_0 d'une autre lame formée dans les mêmes proportions avec des isolants parfaits de pouvoir inducteur ε_1, ε_2.

La différence $\varepsilon_\sigma - \varepsilon_0$ tend vers o en même temps que la période τ ; elle est maxima pour $\tau = \infty$, c'est-à-dire pour les oscillations très lentes.

Si la lame est formée d'un seul diélectrique, c'est-à-dire si $r = 0$ ou $r = 1$, on a $\varepsilon_\sigma - \varepsilon_0$; le pouvoir inducteur d'un milieu homogène n'est pas altéré par la conductibilité.

La détermination d'un pouvoir inducteur par la méthode de Drude est encore applicable à des milieux dont la conductibilité est environ 250000 fois plus considérable que la limite qu'on ne peut dépasser avec l'appareil de Nernst. M. L.

Dispersion dans le spectre électrique, par **E. Marx**. *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 411-434 et 597-622, novembre et décembre 1898.

Marx s'est proposé d'obtenir des oscillations aussi rapides que possible. Dans ce but, il a construit un excitateur du genre de l'excitateur de Blondlot, mais de très petites dimensions ; le fil secondaire est placé à une distance relativement très grande du primaire, de manière à utiliser les oscillations propres de celui-ci, lesquelles sont plus rapides que les oscillations du système résultant formé par les deux cercles. On observe la résonance avec deux ponts : l'un placé très près de l'excitateur. On reconnaît les oscillations propres du primaire à ce que l'on ne peut obtenir la résonance, en déplaçant le deuxième pont, que pour une position déterminée du premier ; au contraire, quand on observe les oscillations du système complexe, on obtient toujours une position du second pont donnant la résonance.

La longueur des ondes obtenues peut être ainsi réduite à 4 cm ; avec d'autres excitateurs construits à la manière ordinaire, Marx a effectué des mesures sur des longueurs d'ondes de 36, 58 et 75 cm. Comme indicateur d'ondes, il emploie l'indicateur de Righi pour les ondes de 4 cm, le tube de Zehnder avec excitation indépendante pour les autres.

Pour la mesure des pouvoirs inducteurs, il se sert de l'appareil à cuve de Drude (1) ; l'observation des petites longueurs d'onde est assez pénible, mais elle permet d'opérer sur des dissolutions salines dont la conductibilité est $3{,}4 \cdot 10^{-6}$ fois celle du mercure.

Avec les indicateurs de Righi, on obtient les maxima nets, en donnant à l'interrupteur Deprez de la bobine, la plus faible tension possible, juste assez pour que les étincelles se produisent encore régulièrement au primaire ; l'étincelle adductrice doit être aussi longue que possible

(1) *L'Éclairage Électrique*, IX, p. 559.

Digitized by Google

et l'étincelle active, au contraire, doit être très courte.

La cause d'erreur la plus importante provient de l'incertitude qui porte sur le point des fils coïncidant avec la limite du liquide. On peut diminuer cette erreur en plaçant un second pont à la limite du liquide ; mais la présence de ce pont provoquerait, avec des ondes si courtes un tel affaiblissement de l'intensité qu'il est préférable de supprimer ce deuxième pont.

Une autre erreur provient de ce que la cuve renfermant le liquide a nécessairement des dimensions finies ; le pouvoir inducteur mesuré est un peu plus petit que le pouvoir inducteur réel, parce que les lignes de force sortent en partie du liquide.

Le carré de l'indice de réfraction du benzène a les valeurs suivantes :

Longueur d'onde.	n^2.
4 cm	3,83
38 »	2,572
57 »	2,425
75 »	2,26.
très grand.	$\varepsilon = 2,251$.

Ces résultats expérimentaux ne s'accordent pas avec ceux qu'on calcule par les formules théoriques de la dispersion. La même difficulté se répétera toutes les fois qu'on appliquera les formules de la dispersion à une substance dont les indices pour les ondes très longues et les ondes très courtes sont peu différents.

La théorie ne fait pas prévoir l'existence d'une anomalie aussi accusée dans le spectre du benzène ; car Drude a démontré qu'on ne peut s'attendre à trouver une valeur notable de nk que si ε_0 et ε_∞ ont entre eux une différence assez considérable.

Pour l'eau, on a :

	λ	n^2
Marx	3,2 cm	85,0
id.	36	80,62
id.	53	83,73
Drude	205	80,6
Cohn et Zeeman / Cole	600	80,82
Uernst	35000	80 (ε).

Si on construit une courbe en prenant comme abscisses les périodes et comme ordonnées les valeurs de l'indice n, on trouve que cette courbe présente des maxima et des minima, qui paraissent se suivre suivant une loi régulière. Cette loi serait exprimée par les formules :

$$\lambda_{max} = 2^{2m-1} \cdot \rho$$
$$\lambda_{min} = 2^{2m+1} \cdot \rho$$

où ρ représente une constante et m un nombre entier. En tenant compte de cette périodicité, et en extrapolant la formule de Ketteler-Helmholtz pour l'infra-rouge, on trouve que les bandes d'absorption de l'eau dans cette région du spectre, doivent être relativement serrées, ce qui s'accorde avec ce qu'on sait des propriétés de l'eau.

De plus, il existe, ainsi que l'a montré en premier lieu Drude, une relation étroite entre les constantes de polarisation des molécules vibrant dans l'infra-rouge et la grandeur du pouvoir inducteur. Plus les diverses espèces de molécules vibrantes sont nombreuses, plus est grand le pouvoir inducteur ε_∞, plus est grande la différence entre ce pouvoir et le carré de l'indice optique.

Cette conséquence de la théorie se vérifie bien sur l'eau, qui a plusieurs bandes d'absorption dans l'infra-rouge et un pouvoir inducteur très grand.

L'étude de la dispersion électrique des alcools est rendue très difficile par leur pouvoir absorbant, et en outre par la variation d'indice que provoque la présence de l'eau dans les alcools ; une différence de 1 p. 100 dans la concentration peut faire varier l'indice de l'alcool éthylique de 35 p. 100. Cet alcool présente une dispersion anomale dans toute l'étendue du spectre électrique. Marx a trouvé :

λ	n^2
53 cm	20,64
4 »	8,80

La dispersion de l'alcool peut être représentée avec une exactitude suffisante par la formule de Ketteler-Helmholtz en négligeant les vibrations propres ; mais ce mode de calcul ne conviendrait pas à la glycérine ni aux alcools amylique, propylique et méthylique.

Marx ne pense pas que l'absorption électrique puisse s'expliquer par la présence de particules conductrices dans un milieu isolant. Si cette absorption était due à la conductibilité de l'oxhydrile O.H, elle devrait être plus marquée dans H.OH et CH^3.OH qui renferme relativement un

Digitized by Google

nombre plus grand de ces molécules. Aucun des alcools cités ne présente de dispersion purement anomale; il se trouve toujours une région où la dispersion est normale. Le maximum de dispersion normale dans la glycérine, l'alcool propylique et l'alcool amylique coïncide approximativement avec un maximum de la courbe de dispersion de l'eau.

Il est plus probable que la dispersion anomale est due à ce que les éléments constituant la molécule empêchent celle-ci de vibrer dans son ensemble à l'unisson des ondes incidentes.

M. L.

Recherches sur les pouvoirs inducteurs spécifiques, par **W.-D. Coolidge.** *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 125-166, septembre 1899.

Coolidge a étudié le pouvoir inducteur de quelques gaz liquéfiés et de plusieurs diélectriques liquides par une modification de la méthode de Drude.

Son excitateur est construit comme celui de Drude, mais la petite ampoule formant condensateur est placée en dérivation sur les fils parallèles en avant du premier pont. L'indicateur est un tube de Zehnder placé à un quart de longueur d'onde en arrière du premier pont. Des expériences de contrôle effectuées sur différents éthers ont donné pour ces liquides sensiblement les mêmes résultats que les expériences de Drude.

Les gaz liquéfiés sont enfermés dans l'ampoule scellée. Le tableau ci-dessous donne les nombres trouvés, avec ceux que Linde a trouvés par la méthode de Nernst.

Gaz	Pouvoirs inducteurs d'après Linde	Pouvoirs inducteurs d'après Coolidge
Gaz sulfureux	14,8 à 23°	13,75 à 14°,5
Ammoniac	(trop conducteur)	16,2 » 14°
Chlore	1,93 » 14°	1,88 » 14°
Gaz carbonique	1,53 » 15°	< 2,20 » 14°

Coolidge a déterminé de nouveau le coefficient de température $\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}$ de l'eau, par degré centigrade; il a trouvé au voisinage de 17°, $\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = -0{,}432$ p. 100, valeurs voisines de celles qu'ont indiqués Heerwagen, — 0,432 et Drude, — 0,450; au-dessus de 24°,7, ce coefficient diminue. Ratz et Franke avaient trouvé des nombres plus grands voisins de — 0,62, le premier par des mesures de capacité, le second par la méthode électrométrique.

Quand le liquide contenu dans l'ampoule est absorbant, l'amortissement des oscillations doit augmenter. Coolidge a recherché si l'eau possédait un pouvoir absorbant notable pour les ondes voisines de 1 m. A cet effet, il détermine l'amortissement par le procédé de Drude, en cherchant le nombre maximum de nœuds qu'on peut distinguer. Ce nombre est toujours plus petit avec le condensateur à eau qu'avec un condensateur à benzine de même capacité. Cet amortissement ne s'explique pas par la conductibilité de l'eau et doit être attribué à une absorption.

Les éthers étudiés par Löwe et par Drude ne paraissent pas posséder, aux erreurs d'expérience près, de dispersion anomale. Coolidge a trouvé une absorption assez faible dans les benzoates de méthyle ($\lambda = 0{,}017$), d'éthyle (0,018), d'amyle (0,023), d'isobutyle (0,028), l'acétate de phényle (0,012), les formiates de propyle (0,008), d'isobutyle (0,008), d'amyle (0,009)

Au lieu d'employer le système de Blondlot, on peut employer aussi celui de Lecher : deux ampoules semblables à la précédente remplacent les condensateurs de Lecher; il semble à première vue que ce dispositif se prête mieux à la mesure des pouvoirs inducteurs, parce que la self-induction y est moindre et que par suite l'influence de la capacité sur la longueur d'onde est plus grande; mais cet avantage est compensé par l'amortissement qui est beaucoup plus grand. De plus, le liquide des condensateurs subit des actions électriques beaucoup plus fortes, qui peuvent provoquer une décomposition.

Comme l'a déjà indiqué Philip, les mélanges d'éther et de chloroforme ont un pouvoir inducteur plus grand que celui qui correspondrait à la règle des mélanges. L'eau ne se sépare pas de l'éther par congélation dans un mélange d'acide carbonique solide et d'éther, ainsi qu'il résulte de la détermination du pouvoir inducteur; la benzine ne dissout pas assez d'eau pour altérer son pouvoir inducteur. Les dissolutions étendues des alcools méthylique, éthylique, propylique, amylique dans le benzène ou le toluène n'ont pas de pouvoir dispersif appréciable, tandis que les dissolutions concentrées et les alcools eux-mêmes sont fortement dispersifs.

Les longueurs d'onde calculées par la théorie de Kirchhoff pour les systèmes employés par Coolidge se vérifient expérimentalement, soit qu'on fasse varier la distance du condensateur au

Digitized by Google

pont en laissant la capacité constante, soit qu'on fasse varier la capacité en laissant le condensateur fixe.

La présence du condensateur à diélectrique absorbant augmente l'amortissement ; la théorie permet de calculer cette augmentation et les résultats du calcul se vérifient bien.

Le maximum d'absorption de l'eau devrait se produire de 3,6 mm, la valeur de x serait de 0,74 ; en fait, Drude a constaté déjà une absorption notable des ondes de 10 cm. (*Cf. ci-dessus.*) M. L.

Sur la double réfraction des rayons de force électrique dans les cristaux. par **E. Pasquini**. *Il Nuovo Cimento*, t. VII, p. 153, mars 1898.

La double réfraction des rayons de force électrique dans les cristaux a été étudiée, entre autres, par Garbasso (*R. Accad. delle Scienze de Turin*, t. XXX, 19 mai 1895), Lebedew (*Wied. Ann*, t. LVI, p. 1, 1895) ; Bose (*Nature Rundschau*, p. 1896) et Righi (*Rend. Accad. dei Lincei*, t. IV, p. 203).

Les recherches de Pasquini ont été faites par la méthode de Lebedew : deux petits cylindres de platine P_1 et P_2 (fig. 1) sont soudés dans des tubes de verre, la charge se fait par les fils de platine D_1 et D_2 qui sont reliés aux pôles d'une machine de Wimshurst. La région où se produit l'étincelle est enfermée dans une petite boîte d'ivoire demi-cylindrique, dont la face antérieure est fermée par une lame en mica. Le tube inférieur est fixé dans la paroi au moyen de mastic, l'autre est tenu dans un anneau à vis qui permet de faire varier la distance entre les deux cylindres de platine, c'est de cette distance que dépend la longueur de l'étincelle primaire et par suite la longueur d'onde ; une petite lame métallique tapisse le cylindre intérieurement et forme un miroir dans la ligne focale auquel est fixé l'oscillateur ; la boîte est remplie d'huile de vaseline. Enfin le tout est placé dans une boîte de fer ouverte à la partie antérieure.

Le résonateur thermo-électrique de Lebedew est remplacé par un radioconducteur à limaille de fer et cuivre. Comme polariseur et analyseur, on emploie des réseaux de 10 cm de largeur sur 15 de longueur, formés de fils de cuivre de 0,8 mm de diamètre et placés à 0,5 mm de distance. L'un est fixé constamment devant l'oscillateur de façon à avoir ses fils perpendiculaires à l'axe vertical de l'oscillateur. L'autre est placé devant le résonateur.

Le support des cristaux est une roue d'ébonite, de 8 cm de diamètre, évidée intérieurement et pouvant tourner dans une bande de laiton. Pendant l'action des ondes électriques le radioconducteur est isolé, ce n'est qu'après qu'on l'insère dans le circuit de la pile et du galvanomètre. Si le deuxième réseau a ses fils verticaux, il n'y a aucune action sur le radioconducteur.

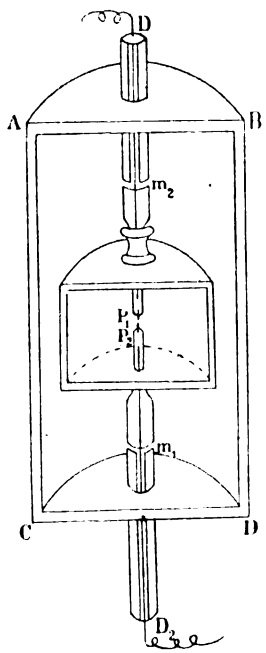


Fig. 1.

En interposant entre les deux réseaux le cristal étudié on observe une action sur le résonateur ; ce n'est pas une réfraction simple car les cristaux sont à faces parallèles ; ce n'est pas davantage une action due aux ondes secondaires produites par le diélectrique, étant données les dimensions de l'appareil. Il y a donc là réfringence.

L'auteur opérant d'abord avec de la sélénite (sulfate de chaux) a retrouvé les résultats de Righi : une des lignes d'extinction coïncide à peu près avec la direction de clivage non fibreux du cristal, l'autre avec la perpendiculaire à cette direction de clivage ou avec l'un des axes cristallins placés dans le plan de symétrie.

Avec l'orthose, feldspath monoclinique d'aluminium, potassium et sodium, on arrive à la conclusion suivante. Des deux directions de maximum, l'une est approximativement paral-

Digitized by Google

lèle et l'autre perpendiculaire à l'arête de combinaison du clinopinacoïde avec la base. Pour la lumière une direction de vibration est déplacée de 3 à 7° par rapport à cette arête ; par suite le couple des directions possibles pour les rayons hertziens est tourné de 38 à 42° par rapport au couple des directions analogues pour la lumière.

Avec le sel gemme, on n'observe pas de double réfraction ; quelle que soit la position du cristal l'extinction subsiste.

Le bois pétrifié se comporte comme le bois ordinaire, les lignes d'extinction sont l'une perpendiculaire et l'autre parallèle à la direction des fibres ; ce phénomène est donc bien dû à la structure physique du bois.

L'auteur termine son mémoire par l'exposé d'une interprétation théorique du fait que dans un cristal les directions d'extinction peuvent être différentes suivant qu'il s'agit de la lumière ou des rayons hertziens.

Dans un milieu anisotrope, l'énergie électrique est exprimée, d'après Hertz, par

$$\frac{1}{8\pi}\int(\varepsilon_{11}X^2+\varepsilon_{22}Y^2+\varepsilon_{33}Z^2+2\varepsilon_{12}XY+2\varepsilon_{23}YZ+2\varepsilon_{31}XZ)\,d\tau$$

Les six coefficients ε qui définissent le milieu sont fonctions de la longueur d'onde et, comme ils sont fonction linéaire homogène des 3 constantes diélectriques principales, ils sont de même nature que le carré de l'indice de réfraction ; l'auteur, pour tenir compte de la dispersion pose, par généralisation de la formule de Cauchy,

$$\varepsilon_{ik}=E_{ik}+\frac{e_{ik}}{\lambda^2};$$

E_{ik} serait la constante diélectrique pour les phénomènes statiques ou à variations lentes ; l'expérience montre que, en général, on peut déjà mettre dans cette catégorie les oscillations électriques hertziennes.

L'auteur calcule ces différents coefficients en tenant compte des résultats expérimentaux et arrive à la conclusion que : les termes E représentent l'action vraiment diélectrique (actions de la théorie primitive Maxwell) tandis que les termes *e* représentent l'action des molécules matérielles (action de résonance). Les deux phénomènes sont complètement indépendants.

G. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 26 décembre

Sur le rayonnement des corps radio-actifs, par **Henri Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 1205-1207.

Dans cette note l'auteur signale les faits suivants, les uns montrant que les rayonnements des corps radio-actifs diffèrent par leurs propriétés, les autres complétant les résultats déjà obtenus par l'auteur dans son étude sur l'influence d'un champ magnétique sur le rayonnement du radium (voir *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 475, 23 décembre 1899).

1. — Une préparation d'azotate de polonium, presque aussi active que le radium soit pour rendre l'air conducteur, soit pour impressionner une plaque photographique, ne présente, sous l'action d'un champ magnétique, aucun des phénomènes constatés avec le radium. M. Becquerel fait observer à ce propos que la préparation radio-active que M. Giesel a étudiée sous le nom de polonium et dont le rayonnement est dévié par un champ magnétique doit être d'une autre nature que celle qu'il a lui-même étudiée. Il ajoute que M. et M^me^ Curie ont, il y a quelque temps déjà, constaté que le rayonnement de l'uranium n'est pas sensible au champ magnétique.

2. Une préparation de radium a été placée dans un champ magnétique sensiblement uniforme sur une plaque photographique, horizontale et parallèle au champ, enveloppée de papier noir ; une autre plaque était disposée verticalement et perpendiculairement au champ. Après quelques minutes de pose on a obtenu sur la première les courbes décrites antérieurement et sur la seconde une impression intense limitée par une spirale dont le sens est celui du courant

Digitized by Google

qui produit le champ ? la tangente à cette spirale, à l'origine, fait avec l'intersection des plaques, dans le sens du mouvement d'entraînement, un angle d'autant plus grand que la distance de la source à la plaque verticale est plus grande ou que le champ est plus intense.

3. Comme l'avaient déjà constaté M. et Mme Curie, l'influence d'un champ électrique très intense sur le rayonnement du radium est presque nulle; il n'y a ni transport de charges appréciables, ni déviation sensible.

4. M. Becquerel a pu déduire de l'examen des courbes obtenues que la vitesse de propagation du rayonnement du radium est de l'ordre de grandeur de la vitesse de rotation communiquée par un champ magnétique de 4 000 unités C. G. S. Si l'on assimile un champ magnétique à un milieu animé de mouvements giratoires, et si l'on admet, comme une hypothèse compatible avec les résultats de recherches antérieures de l'auteur sur la polarisation rotatoire magnétique, que, pour un champ égal à l'unité C. G. S. dans l'air, la vitesse de rotation des tourbillons soit $2\pi \times 6{,}6 \times 10^5$ par seconde, on obtient pour la vitesse du rayonnement du radium des nombres tout à fait de l'ordre de grandeur de ceux qui ont été trouvés pour la vitesse des rayons cathodiques.

De l'emploi des courants triphasés en radiographie, par **Délézinier**. *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 1227.

Des recherches faites par l'auteur avec un matériel confié par M. Radiguet, il résulte que :

1° Aucune ampoule placée sur l'induit ne s'éclaire si l'on excite la bobine par une prise sur deux quelconques des fils d'un triphasé. En diminuant la raréfaction, on voit l'ampoule s'éclairer uniformément quelques secondes, puis se briser. (Ces résultats avaient déjà été constatés par M. Radiguet dans des essais faits sur le secteur triphasé de Limoges, 50 pulsations, 120 volts.)

2° Des interrupteurs divers (type Foucault ou Neef), mis dans le primaire, refusent de fonctionner. Le Wehnelt à réglage ne prend pas un régime régulier. En amenant la durée d'oscillation propre des interrupteurs au synchronisme avec la pulsation du secteur, les résultats ne sont pas meilleurs, même si le réglage est fait au diapason enregistreur avec le signal Deprez. Le résultat le moins mauvais est donné par les interrupteurs qui ont par construction le moins de self-induction et d'hystérésis.

3° Si l'on interpose un électro-aimant à noyau feuilleté, formé de deux branches rectilignes à 120°, portant deux bobines de sens inverse, de faible résistance, dont les nombres de spires décroissent de deux tours par couche :

α. Le Wehnelt fonctionne avec une régularité absolue pendant des heures. Il doit avoir pour liquide une solution saturée d'alun de potassium, un platine à réglage avec bain d'amalgame d'étain, un ajutage en ébonite ou en stéatite, la grande électrode creuse en plomb à courant d'eau intérieur. La bobine donne des étincelles nourries, mais jamais la longue étincelle en chenille Wehnelt sur continu.

β. L'éclairage de l'ampoule est si parfait que la stroboscopie seule en montre les intermittences.

γ. Si, laissant le reste en l'état, on intervertit les extrémités du fil induit par rapport à l'ampoule, celle-ci ne s'inverse pas. La zone éclairée ne se déplace pas, elle est aussi active pour les plaques, un peu moins lumineuse pour l'écran.

δ. Les interrupteurs à période variable fonctionnent très bien quand on peut les synchroniser avec la période du secteur. Le plus satisfaisant est le solénoïde vertical à extrémité inférieure plongeant dans le mercure. En le réglant de façon que la portion de phase utilisée soit $\frac{\pi}{2}$ à $\frac{3\pi}{2}$ ou inversement on obtient d'excellentes radiographies.

L'auteur a pu ainsi, avec un matériel ordinaire pour courant continu, examiner et radiographier de nombreux cas de fractures, exostoses, lésions par projectiles, lésions pulmonaires, cardiaques, etc.

Sur le siliciure de molybdène, par **E. Vigouroux**. *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 1238.

Le molybdène, préparé au four électrique par le procédé de M. H. Moissan, s'unit directement au silicium, comme l'a démontré ce chimiste. M. Vigouroux a étudié le résultat de cette combinaison.

Du silicium cristallisé a été mélangé au produit obtenu en calcinant au rouge le molybdate d'ammoniaque, masse constituée par des proportions variables des deux oxydes MoO^3 et MoO^2 (silicium 100 gr; oxydes de molybdène

Digitized by Google

250 gr). Le tout a été chauffé dans un creuset en charbon introduit dans un four électrique qu'actionnait un courant d'environ 1 000 ampères et 50 volts. Pendant la chauffe, le molybdène naissant se combinait au silicium, la majeure partie de la scorie se volatilisait et, après refroidissement, il restait un culot d'aspect franchement métallique. Dans la plupart des essais, sa cassure laissait paraître des stries nombreuses qui indiquaient une cristallisation abondante. Pour isoler les cristaux, on plongeait le culot, fonctionnant comme anode, dans de l'acide chlorhydrique étendu, au sein duquel baignait également une lame de charbon agissant comme cathode. Un faible courant les détachait et les amenait au fond du vase. Après traitements alternés et rapides à l'eau régale et à la potasse, on reprenait successivement par l'acide fluorhydrique, par l'eau, puis on séchait à l'étuve. Ces cristaux étaient un mélange d'un siliciure de molybdène, d'un siliciure de fer et de siliciure de carbone. Au moyen du tungstate de cadmium, on enlevait le siliciure de carbone, par densité, mais il n'était pas possible de séparer le siliciure de fer. Ce n'est que par des essais multiples qu'on a pu obtenir un produit à peu près exempt de fer ; il répondait à la formule $Si^3 Mo^2$.

Ce corps, dont la composition est analogue à celle du siliciure de tungstène étudié précédemment (*Ecl. Elect.*, t. XVII, p. 88, 8 oct. 1898), jouit de ses mêmes propriétés. Ainsi le chlore le brûle avec incandescence, vers 300°, en formant du tétrachlorure de silicium et du perchlorure de molybdène noir qui se dépose dans l'appareil.

Sur quelques effets des décharges électriques sur le cœur des mammifères, par **J.-L. Prévost** et **F. Battelli**. *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 1267.

Dans une Note précédente *Ecl. Elect.*, t. XVIII, p. 479, 25 mars 1899 les auteurs ont montré que les trémulations fibrillaires du cœur provoquées chez le chien, chez lequel elles sont définitives, peuvent dans certaines conditions être arrêtées, le cœur reprenant ses battements lorsque l'on soumet l'animal au passage d'un courant alternatif de haute tension (de 4800 volts par exemple).

Au moyen de décharges électriques faites directement sur le cœur, ils sont arrivés à des résultats analogues, résumés dans les conclusions suivantes :

1° Quelle que soit la cause qui a provoqué les trémulations fibrillaires du cœur, chez le chien ou chez le chat adultes, elles peuvent être abolies et remplacées par de vraies contractions rythmiques du cœur, avec restauration de la pression artérielle lorsqu'on applique sur le cœur une décharge électrique appropriée (ni trop faible, ni trop forte) ; si toutefois on ne laisse pas s'écouler un laps de temps supérieur à quinze secondes environ.

2° Quand on a laissé passer plus de quinze secondes après l'apparition des trémulations fibrillaires il faut recourir à un massage plus ou moins prolongé du cœur, pour appliquer la décharge d'une manière efficace et obtenir la cessation des trémulations et le rétablissement des battements rythmiques du cœur.

Sous l'effet de ces décharges, les oreillettes sont, le plus souvent, arrêtées en diastole ; mais cet arrêt n'est que momentané, si les ventricules réacquièrent des contractions efficaces.

Les décharges qui ont paru les plus favorables à la restitution des battements du cœur étaient, chez le chat (capacité : 0,63 microfarad ; distance explosive : 5 mm) ; chez les chiens de petite ou de moyenne taille (capacité : 1,74 ; distance explosive : 5 mm ; chez les chiens de grande taille (capacité : 1,74 ; distance explosive ; 6 mm).

3° Les courants induits appliqués sur la région du cœur, qui a reçu une forte décharge électrique, ne provoquent plus de trémulations fibrillaires.

Ces trémulations peuvent, au contraire, être provoquées, si l'on électrise un point autre que celui qui a reçu la décharge.

4° L'inhibition du point du cœur qui a reçu la décharge peut être plus ou moins intense, suivant l'énergie de la décharge ; ce point peut être ou complètement inhibé et rester sans réaction, ou ses réactions peuvent être simplement affaiblies.

5° L'inhibition du point qui a reçu la décharge ne provient pas d'une lésion anatomique profonde, car elle est habituellement passagère.

6° En cas de décharges d'énergie modérée, le courant induit appliqué sur le point de la décharge donne souvent lieu à une accélération du cœur.

Digitized by Google

ASSOCIATION MONTEFIORE

Séance du 30 juillet 1899 (1)

Exposé des divers systèmes destinés à éviter le danger d'un contact entre les fils de télégraphe et de téléphone et ceux du trôlet, par **A. Moens**. *Bulletin*, p. 259-264.

L'auteur commence par indiquer brièvement ces systèmes. Il les divise en deux groupes suivant qu'ils ont pour but d'empêcher le contact ou de rendre le contact inoffensif.

Dans le premier groupe, se trouvent : *a*) les réglettes de bois placées immédiatement au-dessus du conducteur de trôlet ; — *b*) les tubes en caoutchouc dont on recouvre quelquefois le conducteur de trôlet ; — *c*) les fils de garde isolés disposés au-dessus de ce conducteur ; — *d*) les filets de garde placés au-dessous ; — *e*) enfin l'isolement des fils téléphoniques ou télégraphiques.

Dans le second groupe sont rangés : *f* et *g*) les fils et les filets de garde réunis à la terre ; — *h* et *i*) les boucles et rampes de garde ; — *j*) les pinces spéciales ; — *h*) les fusibles.

Les fils et filets de garde sont bien connus ; les boucles de garde consistent en boucles métalliques entourant le fil téléphonique et d'un diamètre suffisant pour n'entrer en contact avec le fil que quand celui-ci tombe ; les rampes sont des tiges métalliques disposées horizontalement au-dessous des fils. Ces quatre systèmes agissent de la même manière :

Lorsqu'un fil téléphonique ou télégraphique vient à tomber, le conducteur à fort courant se trouve relié au sol par l'intermédiaire du fil rompu et de l'appareil de garde ; le disjoncteur automatique de l'usine se met alors en fonction et la ligne à fort courant cesse d'être alimentée.

Le cinquième dispositif du second groupe consiste en des pinces spéciales par lesquelles le fil téléphonique est soutenu. Si ce fil se brise, ces pinces s'ouvrent automatiquement et lâchent le fil.

Quant aux fusibles ils sont toujours nécessaires pour éviter le danger d'incendie qui peut résulter d'un contact même de très courte durée. D'après le rapport de Wietlisbach, au Congrès de Genève (*Écl. Élect.*, t. VIII, p. 385, 1896), ces fusibles devraient fondre sous un courant de 0,8 à 1 ampère, mais cette limite de l'intensité est trop élevée car les annonciateurs ne supportent qu'un courant de 0,1 à 0,2 ampère. Aussi MM. Blondel et Dubois recommandent-ils d'employer des fusibles très sensibles (ceux à platine iridié de Postel-Vinay ou ceux à alliage fusible de Sneak) et de les doubler par des parafoudres très sensibles protégeant les fusibles contre les décharges atmosphériques. Pour empêcher la formation des arcs le fusible est fait d'un fil mince tendu dans du sable ou dans un tube de verre recouvert d'un tube de fibres ; l'arc est étouffé par le sable ou par l'explosion due au bris du verre. Des fusibles fondant sous l'action d'un courant de 0,2 ampère sont employés à Marseille.

Revenant aux quatre premiers système de ce groupe, M. Moens fait remarquer que le fil tombé peut fondre entre le fil de trôlet et l'appareil de garde rompant ainsi la mise à la terre ; si donc un bout reste suspendu au conducteur à fort courant, il devient un danger. A ce propos, il décrit l'appareil imaginé par M. Ulbricht pour éviter ces inconvénients. Nos lecteurs se rappellent (*Écl. Élect.*, t. XII, p. 300, 7 août 1897) que dans ce système le fil de garde est en série avec un électro-aimant, lequel, par le mouvement de son armature, met le fil de trôlet en communication franche avec le sol dès qu'un courant le traverse. Ce système fonctionne avec succès à Swickau et à Dresde.

A la suite de cette communication, il a été décidé qu'une décision générale sur les dispositifs rappelés par M. Moens aurait lieu dans la prochaine séance.

Éclairage électrique des trains, par **G. L'Hoest**. *Bulletin*, p. 264-270.

Après avoir donné le principe du système Stone qui, comme on le sait, consiste à suspendre la dynamo génératrice de telle sorte que la courroie qui la relie à l'essieu de la voiture glisse quand la vitesse de celle-ci dépasse une certaine valeur (Voir *Écl. Élec.*, t. VIII, p. 526, 12 sept. 1896 ; t. XX, p. 460, 23 sept. 1899). L'auteur cite quelques résultats d'essais faits par lui et d'autres observateurs, résultats résumés dans le tableau suivant :

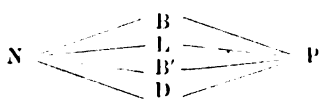
(1) D'après le dernier fascicule du *Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montéfiore.*

Digitized by Google

VITESSES ANGULAIRES			VITESSE	
de l'essieu	de la dynamo (observée)	de la dynamo (sans glissement)	linéaire du train	courant
t : m	t : m	t : m	km : h	amp.
100	500	500	19	0
138	690	690	26	2
150	750	750	29	6
168	840	840	32	14
175	870	875	34	16
185	885	925	35	17
195	900	975	37	18.5
205	915	1025	38	20
225	915	1125	43	20
250	915	1250	48	20
275	915	1375	53	20
300	915	1500	58	20
400	915	2000	77	20
500	915	2500	96	20
600	915	3000	115	20

On voit que dès que la vitesse du train atteint 38 km : h., la vitesse angulaire de la dynamo conserve la même vitesse angulaire de 915 t : m tandis que s'il n'y avait pas glissement de la courroie, cette vitesse angulaire aurait dû varier de 1 025 à 3 000 t : m.

M. L'Hoest signale ensuite un perfectionnement dans l'équipement Stone. Ce perfectionnement consiste à mettre deux batteries d'accumulateurs en dérivation avec la dynamo et avec les lampes comme l'indique le schéma suivant :



où B et B′ représentent les deux batteries, L le réseau des lampes, D la dynamo. Quand le train marche dans un certain sens, c'est l'une des batteries, B par exemple, qui alimente le circuit d'éclairage, tandis que l'autre batterie est chargée par la dynamo ; pour cela une résistance est intercalée entre l'un des pôles de la batterie B′ et le point de connexion correspondant P. Quand le train marche dans l'autre sens, la résistance est automatiquement enlevée du circuit dérivé de la batterie B′ pour être reportée dans le circuit de B ; c'est alors cette dernière batterie qui se charge pendant que l'autre alimente les lampes.

Lorsque le train est sur le point de s'arrêter la dynamo est déconnectée et les deux batteries fonctionnent en parallèle sur le circuit d'éclairage, des résistances étant automatiquement intercalées dans leurs circuits de manière à égaliser les différences de potentiel entre P et N, les batteries n'ayant pas la même différence de potentiel par suite de leur état de charge différent. Enfin lorsque, le train étant en marche, les lampes ne sont pas allumées, les deux batteries sont chargées en parallèle par la dynamo.

Avec deux batteries fonctionnant ainsi la différence de potentiel aux bornes des lampes ne varie que dans des limites très rapprochées.

Mesure des grandeurs électriques dans les circuits à courants alternatifs, par **Omer de Bast**. *Bulletin*, p. 271-296.

Dans ce mémoire l'auteur donne un exposé élémentaire des principes appliqués dans la mesure des intensités, des quantités d'électricité et des différences de potentiel alternatives. Par sa nature il échappe à l'analyse ; aussi nous bornerons-nous à en recommander la lecture à ceux qui, peu familiarisés avec les courants alternatifs, désirent une description à la fois claire et concise des principaux instruments employés dans l'industrie pour la mesure des grandeurs électriques alternatives.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 13 Janvier 1900. 7e Année. — N° 2.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'École Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

LES FIACRES ÉLECTRIQUES DE NEW-YORK

La grande cité américaine se prête particulièrement bien à l'exploitation d'un service de fiacres électriques en raison du tarif très élevé des voitures de place : pour voitures à deux places, 5 fr l'heure ou bien 5 fr pour les deux premiers milles (3,2 km) et 2,50 fr pour chaque mille supplémentaire. D'un autre côté, l'emploi des fiacres y est beaucoup moins répandu qu'à Paris, en sorte que l'entretien et l'immobilisation du matériel et de la cavalerie faisaient revenir la traction animale à un prix très élevé.

Les résultats favorables obtenus ne sauraient donc être comparés à ceux qu'on peut obtenir dans nos contrées, spécialement à Paris, où le tarif des fiacres est beaucoup plus réduit.

Ceci dit, nous serons les premiers à reconnaître que ces conditions propices ont été mises à profit avec une habileté et une énergie tout américaines.

Les fiacres électriques de New-York sont dus aux travaux de MM. Morris et Salom, de Philadelphie (1). Leurs premiers essais remonteraient à 1889, mais leur première voiture d'essai ne sortit que le 31 août 1894. Ils remportèrent le premier prix du concours organisé, le 28 novembre 1895, par le *Times-Herald*, de Chicago, et, en 1897, le *Franklin Institute*, de Philadelphie, leur décerna le prix et la médaille du legs John Scott.

Ces travaux furent sanctionnés, au point de vue pratique et industriel, par la formation d'une société d'abord peu importante, connue sous le nom de Electric Carriage and Wagon Company ; cette société mit en service à New-York, 12 fiacres électriques, le 15 avril 1897 ; pendant le mois de juin suivant, 632 locations furent faites, avec un maximum de 32 et un minimum de 12 par jour ; 1 580 voyageurs furent transportés et la distance parcourue

(1) Ces inventeurs ont nommé leurs voitures des *électrobates* (du grec *bainô*, je marche).

**

Digitized by Google

fut de 7 780 km, soit une moyenne de 12 km environ par course. Les voitures s'étaient bien comportées. Le succès commercial était donc certain. Aussi, vers la fin de 1898, le nombre de voitures électriques fut porté à 100. Enfin, dans les premiers mois de 1899, la société se transformait : elle prenait le nom de New York Electric vehicle and transportation Company et portait son capital à 25 millions de dollars, soit 125 millions de francs ; plusieurs filiales furent créées en même temps en vue de l'exploitation des fiacres électriques dans d'autres États de l'Union. Le capital dont disposent ces compagnies est d'environ 400 millions de francs.

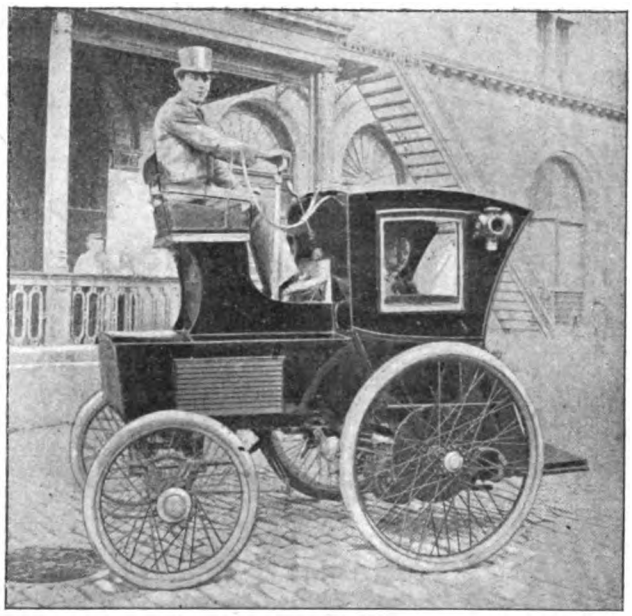


Fig. 1. — Vue d'un cab électrique de New-York (modèle 1897).

Ces capitaux énormes n'ont pas été adoptés simplement par amour du « biggest in the world ». Ils ont servi tout d'abord à obtenir des licences des fabricants d'accumulateurs, de pneumatiques, de moteurs électriques, etc., ce qui permet la construction avec le minimum de frais. Ensuite, 4 200 voitures viennent d'être commandées pour l'État de New-York. Ces 4 200 voitures coûteront environ 40 millions de francs ; elles seront mises en service dans deux ans. Pendant ce temps, de nombreuses usines de charge seront construites dans la ville et aux alentours. Cette organisation sera étendue par les différentes filiales à d'autres États jusqu'à ce qu'un réseau complet soit ainsi formé. Chaque usine de charge sera munie de l'outillage mécanique décrit plus loin, qui permet en 2

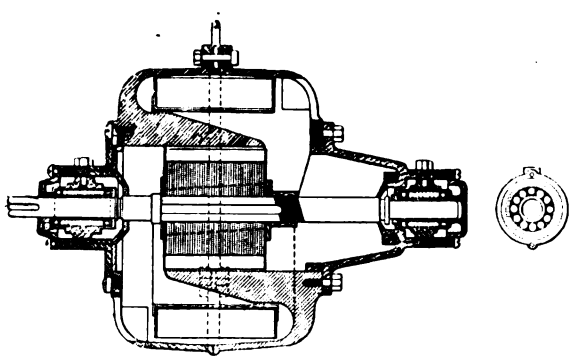


Fig. 2. — Moteur Lundell.

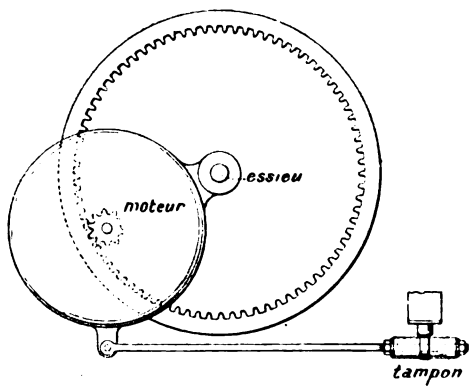


Fig. 3. — Suspension du moteur et transmission.

ou 3 minutes de retirer la batterie épuisée et de la remplacer par une batterie nouvellement chargée. A New-York le courant sera fourni par l'usine centrale construite pour les tramways et l'éclairage, à un prix excessivement bas.

L'exploitation sera faite de plusieurs façons : la compagnie louera des voitures aux par-

Digitized by Google

ticuliers, à la course, à la journée ou au mois ; elle louera ses voitures à des cochers qui lui paieront une « moyenne » de 30 fr par jour ; enfin, la compagnie vendra des voitures à des particuliers, mais sans vendre la batterie ; moyennant un abonnement annuel, dont le prix n'est pas encore fixé, les propriétaires des voitures pourront obtenir, dans l'une quelconque des stations de la compagnie sur le territoire des État-Unis, le changement d'une batterie épuisée par une autre nouvellement chargée.

On voit qu'il s'agit là d'une entreprise absolument complète, sortie de la période des tâtonnements. Ce sera la première ayant atteint ce résultat. Il est donc intéressant d'entrer à son sujet dans quelques détails.

Nous n'insisterons pas sur les modèles d'essais construits de 1894 à 1897 ; ils avaient pour but de déterminer les formes les plus favorables à donner aux voitures et aussi la consommation d'énergie électrique nécessaire à leur traction.

La description donnée plus loin des types adoptés en pratique nous dispensera d'entrer dans de grands développements au sujet des formes adoptées. Nous dirons simplement que dans toutes ces voitures l'avant-train est moteur et l'arrière-train directeur. Cette disposition a donné en pratique de bons résultats.

Les essais relatifs à la dépense d'énergie électrique sont intéressants. Leur comparaison avec les résultats de la pratique montre combien l'exploitation des fiacres dans les grandes villes diffère de la « promenade » d'essais.

Les inventeurs américains avaient conclu de leurs expériences, faites avec une voiture pesant en charge 910 kg, que les conditions de marche étaient les suivantes (Tableau I) :

TABLEAU I. — *Puissance nécessaire pour la traction à différentes vitesses.*

VITESSES		INTENSITÉS	Diff. d. pot.	PUISSANCE		EFFORTS de traction par tonne
En km : h	en m : s	en ampères.	en volts.	en watts	en kgm : s	en kg
1	2	3	4	5	6	7
8	2,22	6	96	576	58,7	29
19.3	5,36	15	96	1440	146,8	30
32	8,88	30	90	2700	275,2	34

Les intensités de courant mesurées sont les intensités débitées par la batterie. Les coefficients de traction donnés dans la dernière colonne comprennent donc non seulement les frottements des roues sur le sol et des fusées dans les moyeux, mais encore les pertes dues au moteur et à la transmission.

En admettant ces chiffres, une voiture du genre de celles employées à New-York, pesant, avec les voyageurs, environ 1,5 t. demanderait, à la vitesse maxima de 4 m : s, soit 14,4 km : h, une puissance

$$P = 9{,}81 \times 1{,}5 \times 4 \times 30 = 1766 \text{ watts.}$$

Une batterie de 48 éléments donnant 88 volts devrait donc fournir

$$\frac{1766}{88} = 20 \text{ ampères.}$$

Digitized by Google

Avec une capacité de 100 ampères-heure, cette batterie pourrait donc suffire à un service de 5 h, soit un parcours d'environ 70 km. Mais il faut tenir compte de la valeur plus élevée du coefficient de traction sur certains pavages et sur les rampes, des arrêts, ralentissements, virages, de la diminution de capacité de la batterie par suite des courants exagérés aux démarrages, sur les rampes. Aussi ces valeurs ne sont jamais atteintes.

Ainsi, MM. Morris et Salom avaient calculé le tableau suivant (Tableau II) en se

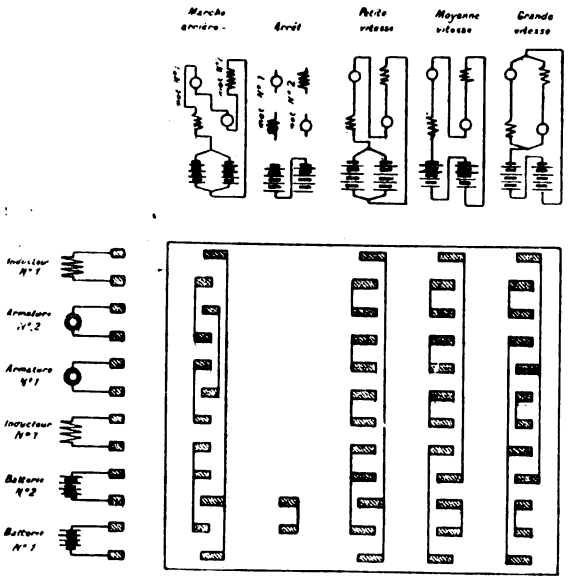


Fig. 4. — Schéma du combinateur.

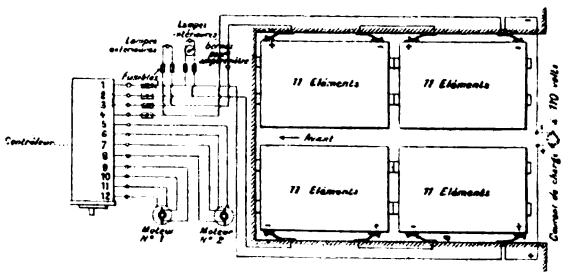


Fig. 5. — Schéma général des circuits de la voiture.

basant sur les valeurs précédentes. En comparant les chiffres de ce tableau avec ceux que nous donnons plus loin, on peut voir que, dans la pratique, tous les poids ont été augmentés et les parcours diminués :

TABLEAU II. — *Relation entre le poids des voitures, le poids des batteries, la vitesse de marche et le parcours total, d'après MM. Morris et Salom.*

TYPE DE VOITURE	POIDS TOTAL Maximum avec voyageurs en kg.	POIDS TOTAL Maximum de la batterie en kg.	PARCOURS TOTAL Maximum en km.	VITESSE EN KM : H	
				Maxima	Moyenne
Duc	900	365	56	24	13
Hansom	1 350	545	40	19	9,5
Coupé	1 500	545	40	19	9,5
Voiture fermée	1 600	545	40	16	9,5
Victoria	900	365	56	24	13
Landau	1 150	545	40	19	9,5
Voiture de livraison	1 350	545	40	14,5	9,5
Omnibus	2 300				

Dans ce qui suit, nous décrirons d'abord les types de voitures en service ; nous donnerons ensuite la description des usines de charge.

I. — TYPES DE VOITURES ÉLECTRIQUES AMÉRICAINES.

HANSOMS (1897). — Le coffre est semblable à celui des cabs anglais (fig. 1) ; mais

Digitized by Google

la voiture est montée sur 4 roues et porte à l'arrière un coffre qui contient la batterie et sur lequel est établi le siège du cocher. Une porte à deux panneaux, manœuvrée par un levier à portée de la main du cocher, ferme la partie réservée aux voyageurs.

Les roues d'avant sont motrices et les roues d'arrière directrices ; elles sont toutes à rayons tangents, avec roulements à billes et pneumatiques Hartford de 76,2 mm de diamètre, gonflés à la pression de 7 kg : cm², ce qui donne, à pleine charge, un plat sur le sol de 15 à 20 cm. Les roues d'avant ont 112 cm de diamètre et les roues d'arrière 81,3 cm.

Le centre de gravité de l'ensemble est très bas.

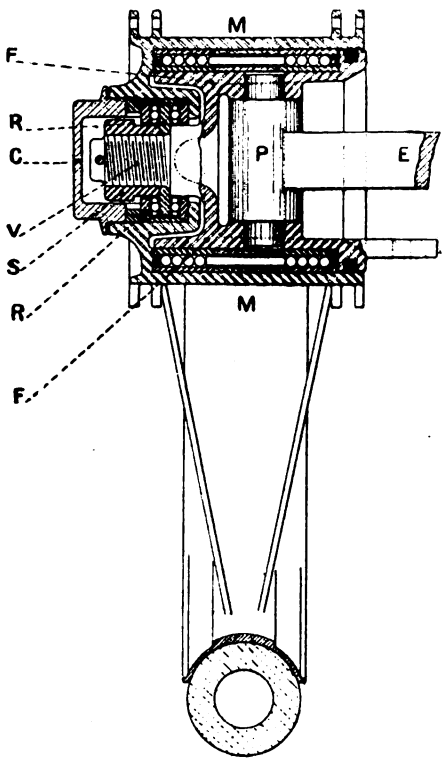


Fig. 6. — Moyeu pivoté.

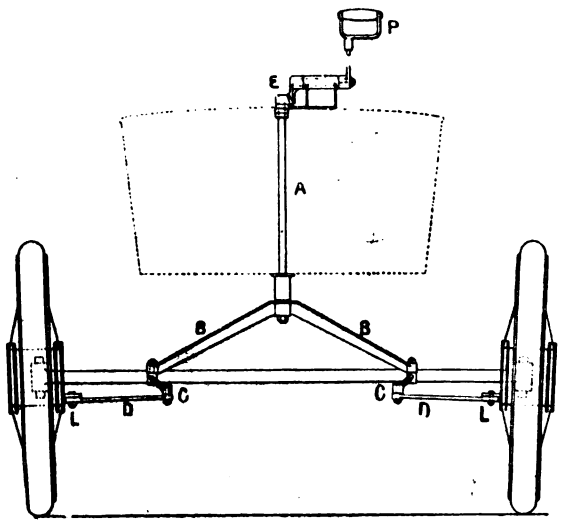


Fig. 7. — Commande de la direction.

Chaque roue motrice est attaquée indépendamment par une dynamo Lundell bipolaire dont la construction est représentée en figure 2. Chaque moteur, d'une puissance normale de 1 100 watts, est enroulé en série ; il a une seule bobine inductrice ; sa forme est à peu près sphérique ; il est complètement enfermé ; les paliers sont garnis de graisseurs automatiques et de roulements à billes. Le poids total de chaque moteur est de 78,5 kg.

La figure 3 représente le mode de suspension des moteurs et la transmission par engrenages. On voit que chaque moteur est pivoté par un côté sur l'essieu fixe et supporté, à l'autre côté, par un double tampon élastique. Le pignon monté sur l'arbre de l'armature engrène directement avec un cercle denté intérieurement qui est solidaire du moyeu de la roue ; celle-ci est montée à billes sur l'extrémité de l'essieu fixe ; le pignon a 10 dents et la roue dentée 82.

L'extérieur du cercle denté, qui peut être au besoin recouvert par une composition spéciale supportant l'usure, sert de tambour pour le frein à bande.

Les deux tiers du poids total, y compris les voyageurs, sont portés par les roues d'avant.

Les accumulateurs, fabriqués par l'Electric Storage battery Company, n'ont que 3 plaques, au chlorure et Manchester, du type 3 F d'une capacité de 100 ampères-heure, ou du type 3 M d'une capacité de 70 à 75 ampères-heure.

Digitized by Google

Une batterie complète pour hansom pèse environ 410 kg, y compris les boîtes extérieures ; elle comprend 44 éléments divisés en 4 séries de 11 ; son régime normal est de 21 ampères. Elle devait permettre, sans recharge, dans les conditions les plus favorables, le service suivant :

VITESSES	RÉGIME	PARCOURS TOTAL
6 à 8 km : h	12,5 amp.	48 à 55 km.
11 à 16 »	25,0 »	32 à 40 »
24 »	40,0 »	24 »

Dans la pratique, elle ne permit que des parcours plus faibles ; aussi dans les nouvelles voitures, on la remplaça par une batterie plus lourde.

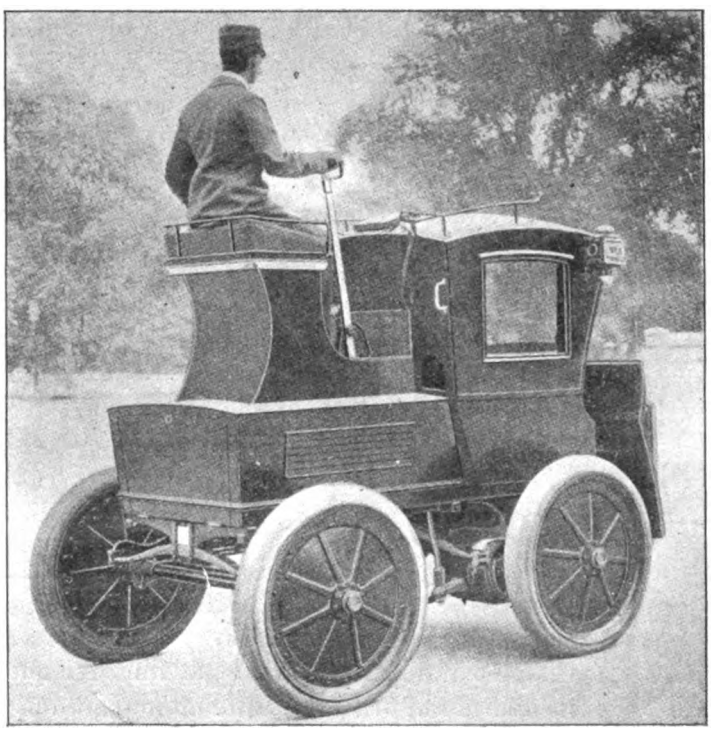


Fig. 8. — Vue d'un cab électrique de New-York (modèle 1898).

Chaque série de 11 éléments est renfermée dans une boîte ayant, à chaque extrémité, sur un côté, une bande de contact en laiton, reliée avec les éléments contenus dans la boîte et servant à établir automatiquement les communications avec le circuit des moteurs en venant frotter sur des ressorts fixés dans le coffre de la voiture. Les caisses en tôle, armées de plomb et vernies à l'épreuve de l'acide, ont chacune $51 \times 33 \times 15{,}25$ cm. Les quatre caisses sont placées séparément dans le coffre de la voiture ; celui-ci est muni d'une porte s'ouvrant à charnières par le bas et est divisé longitudinalement par une double cloison verticale placée au milieu ; les caisses reposent sur des rouleaux afin de rendre la manœuvre plus facile. On espérait, par l'emploi d'éléments à 3 plaques, faciliter les réparations et en diminuer l'importance ; mais, dans les nouvelles voitures on a dû employer des éléments plus lourds, à 5 plaques, afin d'avoir une capacité suffisante.

Un combinateur dont le volant de commande est placé à la gauche du cocher permet d'obtenir les couplages suivants (Tableau III) :

Digitized by Google

TABLEAU III

N° DE LA combinaison	DIRECTION	VITESSES en km : h.	COUPLAGE DE LA BATTERIE	COUPLAGE DES MOTEURS entre eux
— 1	arrière	6 à 8	2 groupes en dérivation de 22 éléments en série.	Série
0	arrêt	0	4 éléments en série.	Disconnectés.
+ 1	avant	6 à 8	2 groupes en dérivation de 22 éléments en série.	Série.
+ 2	»	12 à 16	44 éléments en série.	d°
+ 3	»	24	d°	Dérivation.

Les figures 4 et 5 qui représentent le schéma du combinateur et le schéma général des communications permettent de suivre facilement la marche des courants et de comprendre la construction du combinateur.

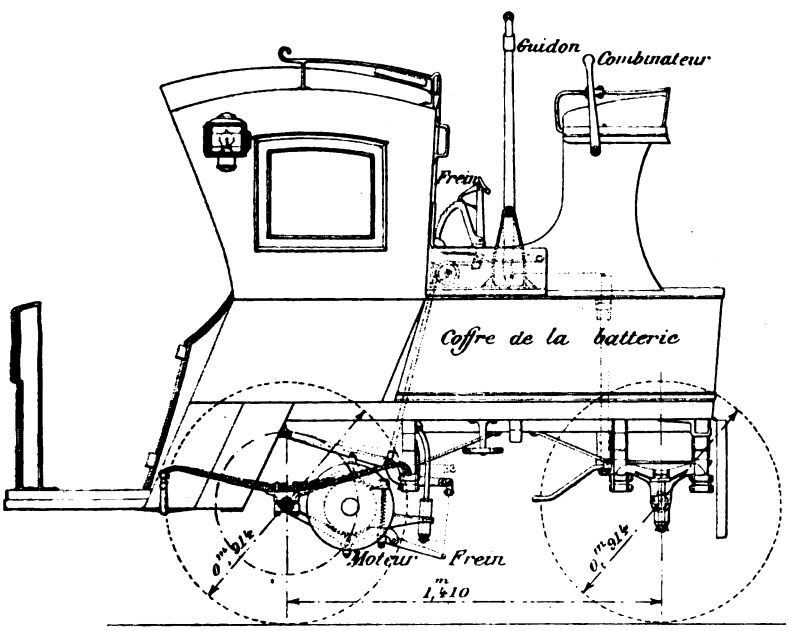


Fig. 9. — Elévation latérale d'un cab de New-York (modèle 1898).

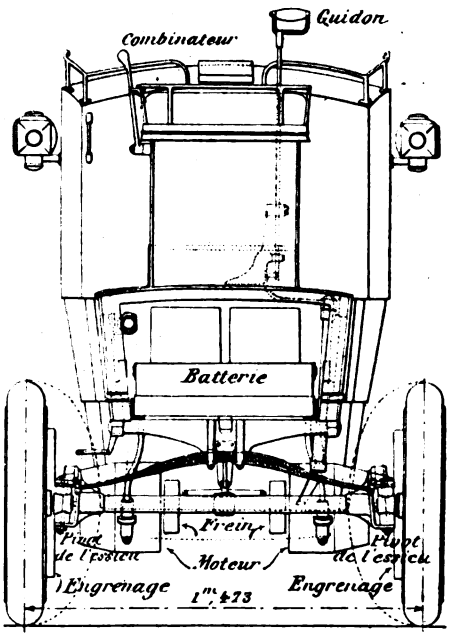


Fig. 10. — Vue en bout (arrière) d'un cab électrique de New-York (modèle 1898).

La direction se faisait par essieu brisé d'une forme spéciale, connu sous le nom de « moyeu pivoté ». Les figures 6 et 7 représentent la construction de cet organe et la disposition des leviers de commande.

Cette disposition avait pour but de diminuer la longueur du bras de levier de la résistance en faisant pivoter chaque roue autour d'un axe vertical situé dans son plan : l'essieu d'arrière E, qui est fixe, est terminé, à chacune de ses extrémités par un axe vertical P qui forme le pivot du moyeu. Sur cet axe est enfilé un manchon F terminé, vers l'extérieur, par une saillie centrale filetée V. Le moyeu M de la roue tourne sur ce manchon par l'intermédiaire de billes en acier ; il est maintenu en place par les rondelles R qui sont elles-

Digitized by Google

mêmes maintenues par le manchon S vissé sur la saillie V ; des billes en acier sont intercalées entre les rondelles pour faciliter le roulement ; un chapeau C ferme le tout et garantit les pièces mobiles contre la poussière.

Cet organe d'une construction et d'un entretien compliqués a été abandonné, dans les nouvelles voitures, pour l'essieu brisé ordinaire.

Chaque voiture était munie d'un cyclomètre enregistreur.

Le poids total, sans voyageurs, était d'environ 1 150 kg.

Hansoms (1898). — L'apparence générale de ces voitures (fig. 8, 9 et 10) est à peu près la même que celle du modèle de 1897. Seulement le centre de gravité est plus élevé et les quatre roues sont toutes du même diamètre.

Au début, ces roues, au lieu d'être à rayons, comme d'ordinaire, étaient formées chacune de deux plaques d'acier de 3 mm d'épaisseur, ayant la forme d'un bouclier et fixées d'une part au moyeu, d'autre part à la jante (fig. 8). Hâtons-nous d'ajouter que ces roues ont donné de mauvais résultats ; elles manquaient d'élasticité et jouaient le rôle de boîtes de résonnance qui amplifiaient les bruits d'une façon très désagréable. On n'a pas tardé à revenir aux roues ordinaires à rayons en bois. Les couronnes dentées à l'intérieur qui servent à la transmission du mouvement sont boulonnées sur ces rayons, afin d'éviter que l'effort moteur ne soit transmis par le moyeu, ce qui déforme les roues.

Chaque roue a 91,4 cm de diamètre ; elle est munie de pneumatiques de 12,7 cm de diamètre, gonflés à la pression de 4,25 kg : cm². Les pneumatiques des roues d'avant, qui sont les plus chargées, ont dû être supprimés, leur entretien étant trop coûteux ; des bandages en caoutchouc plein dans lequel sont noyés des cerceaux en fils d'acier soudé électriquement ont donné d'excellents résultats. Les pneumatiques ont été conservés sous les roues d'arrière.

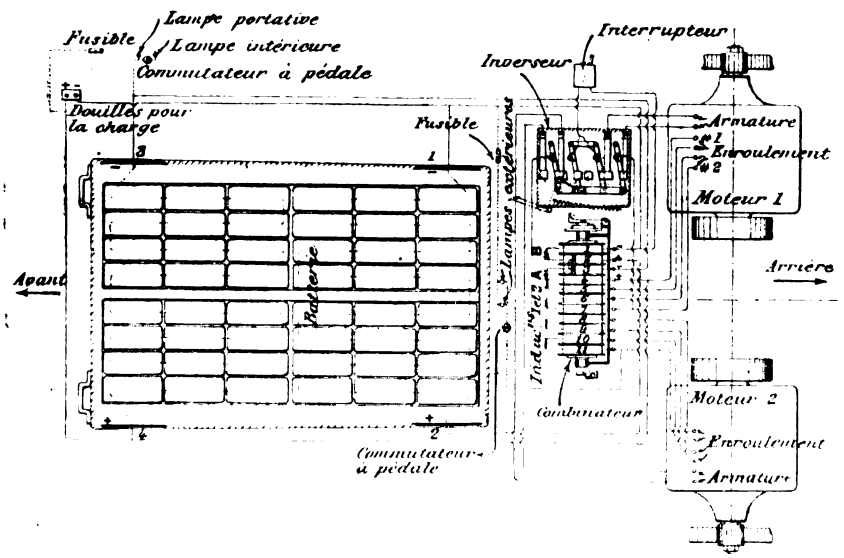


Fig. 11.— Schéma général des circuits des fiacres de New-York (modèle 1898).

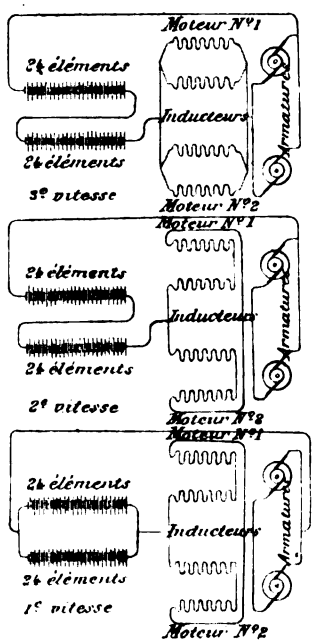


Fig. 12.—Schéma du combinateur.

Le système de direction par moyeu pivoté a aussi été abandonné pour un essieu brisé ordinaire à pivot incliné et à roues convergentes, dont le détail est clairement indiqué sur les figures 9 et 10.

La longueur de la voiture, de bout en bout, est de 2,75 m ; sa plus grande largeur de

Digitized by Google

1,53 m ; l'écartement des roues, tant à l'avant qu'à l'arrière est de 1,47 m ; l'empattement est de 1,41 m.

Le poids total de la voiture est de 1 350 kg avec la batterie, mais sans les voyageurs ni le cocher, soit de 1 500 à 1 600 kg en charge.

La batterie est composée de 48 éléments, type FV., d'une capacité de 100 ampères-heures au régime normal de 20 ampères. Chaque élément comporte deux plaques positives, type Manchester, et trois plaques négatives au chlorure ; les plaques sont séparées par des feuilles en ébonite ondulées ; les bacs sont en ébonite et, dans la caisse de la batterie, ils sont séparés les uns des autres par des lames de verre. Le poids de chaque élément est de 12 kg environ ; la batterie entière pèse donc 570 kg ; elle est montée dans une seule caisse formée d'un châssis en fer sur lequel sont fixées les parois en bois ; des glissières en fer facilitent sa manutention dans le coffre de la voiture. Les éléments sont montés en deux séries de 24 ; les pôles de chaque série sont reliés à des plaques de contact extérieures, afin que les communications s'établissent automatiquement dès que la batterie est mise en place. Les dimensions de la batterie, sans la caisse, sont les suivantes : longueur, 1 m ; largeur, 0,66 m ; hauteur, 0,41 m.

Fig. 13. — Vue d'un coupé électrique de New-York (modèle 1898).

Les figures 11 et 12 donnent le schéma des circuits du combinateur ; la batterie est divisée en deux groupes de chacun 24 éléments en série ; ces deux groupes peuvent être montés soit en série soit en quantité ; le circuit des armatures, formé des deux induits en dérivation est monté en série avec le circuit des inducteurs qui lui, est formé des deux inducteurs montés constamment en dérivation l'un par rapport à l'autre ; seulement, l'inducteur de chaque moteur est formé de deux enroulements qui peuvent être groupés soit en série, soit en quantité. Les combinaisons sont les suivantes :

N°		VITESSES en km : h.	BATTERIE	INDUCTEURS de chaque moteur.
0	Arrêt	0	48 éléments en série	
1	Avant	10	2 groupes en dérivation de 24 éléments en série.	Série.
2	d°	20	48 éléments en série.	d°
3	d°	24	d°	Dérivation.

...

Digitized by Google

La marche arrière est obtenue au moyen d'un commutateur inverseur spécial, commandé par une pédale. On peut ainsi obtenir trois vitesses arrière, mais ce n'est qu'au prix d'une complication des organes de manœuvre : le cocher a la main gauche occupée par le levier du combinateur, la main droite par le guidon et le pied gauche par le frein ; le pied droit doit manœuvrer à tour de rôle le commutateur inverseur, le commutateur interrupteur et le signal avertisseur.

Le commutateur inverseur est constamment ramené dans la position correspondant à la marche avant au moyen d'un ressort (fig. 11).

Un commutateur interrupteur sert à couper le courant en cas de danger ; il est muni d'une clé que le cocher peut enlever lorsqu'il s'absente, afin d'éviter qu'un étranger ne puisse faire manœuvrer la voiture.

Le frein à ruban, agissant dans les deux sens, est monté directement sur l'axe de l'armature dont la vitesse angulaire est plus considérable.

Le moteur est une réduction du moteur cuirassé pour tramways construit par la compagnie Westinghouse. Chacune des roues motrices est attaquée par un moteur indépendant d'une puissance normale de 1 500 watts à 80 volts, et dont la vitesse angulaire est de 700 t : m. Chaque moteur est pivoté à une extrémité sur l'essieu fixe et, à l'autre extrémité, il est suspendu entre deux ressorts à boudin fixés sur la voiture (fig. 9 et 10). Il attaque la roue

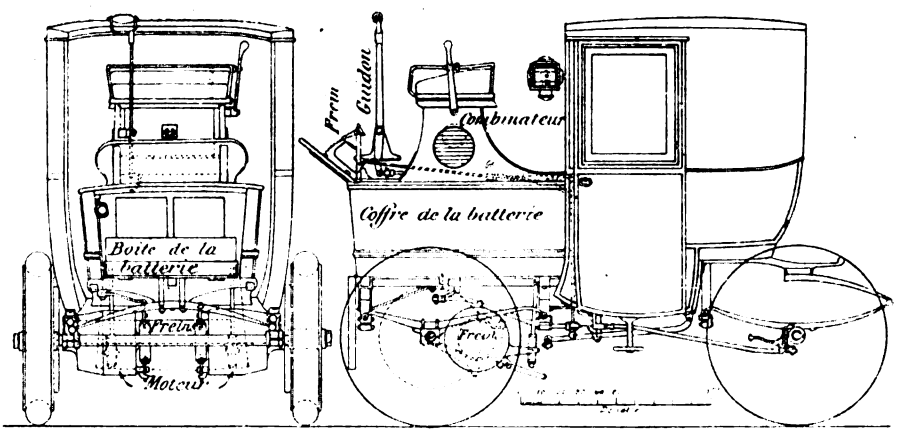


Fig. 14 et 15. — Vue en bout d'un coupé (1898) et élévation latérale (avant) d'un coupé (modèle 1898).

par simple réduction de vitesse ; le pignon de l'armature engrène avec une couronne dentée intérieurement et qui est fixée sur les rayons de la roue motrice, comme nous l'avons dit.

Le parcours total que ces voitures peuvent effectuer sans recharge ne dépasse pas 30 à 35 km.

Coupés (1898). — Les figures 13, 14 et 15 qui représentent les détails de construction et la vue extérieure de ces voitures nous dispenseront d'autre description ; les organes principaux et leur disposition sont les mêmes que pour le dernier type étudié.

Modèles 1899. — Les 4 200 voitures en construction ne différeront des modèles de 1898 que par les détails. On cherchera notamment à diminuer le poids mort par l'emploi de matériaux de construction de qualité supérieure. Les moteurs seront d'un nouveau modèle et leur puissance sera doublée.

(*A suivre.*)

G. Pellissier.

Digitized by Google

SUR LES BATTERIES-TAMPONS

Dans une conférence faite à la Société des Électriciens de Berlin le 12 avril, M. L. Gebhard exposait sur l'emploi des batteries-tampons des considérations qu'il nous a paru intéressant d'analyser ici.

La question des batteries-tampons est toute actuelle. On sait que dans les exploitations de tramways la charge est extraordinairement variable, surtout quand il s'agit d'installations de faible importance.

C'est ainsi qu'à Remscheidt, alors que l'intensité moyenne est de 132 ampères, elle atteint 290 ampères pendant 1 minute et jusqu'à 375 ampères aux à-coups, en même temps qu'elle descend assez fréquemment à 0.

Dans de tels cas, il y a grand avantage à employer des batteries-tampon, et à ne calculer les machines que pour le débit moyen. On peut considérer en effet que les frais d'acquisition de la batterie convenablement calculée sont compensés par l'économie sur l'acquisition des chaudières, machines à vapeur et dynamos.

On bénéficie alors de tous les avantages offerts par la batterie-tampon :

1° Considérable économie de charbon qui dans bien des cas est suffisante par elle-même pour compenser l'achat des accumulateurs ;

2° Diminution du temps de marche des machines par suite de l'alimentation directe par la batterie des premières voitures le matin et des dernières voitures le soir ;

3° Diminution de l'usure des machines par suite d'une plus grande uniformité de la charge ;

4° Sécurité d'exploitation, la batterie pouvant continuer d'assurer le service dans le cas d'accident de machine.

Pour des installations plus importantes, telles que celle de Hambourg où le courant oscille seulement entre 1 600 et 2 400 ampères, avec une moyenne de 2 000 ampères, le prix d'achat des accumulateurs peut n'être pas compensé par l'économie sur l'achat des machines et sur le charbon, et pourtant dans ces cas la sécurité d'exploitation est tellement importante qu'ici aussi, on peut employer des batteries-tampons. C'est ainsi qu'à Hambourg est installée une batterie capable de donner 1 600 ampères ; à Berlin trois batteries pouvant donner ensemble 3 770 ampères ; à Leipzig une batterie donnant 1 480 ampères, ces batteries étant toutes suffisantes pour assurer ce débit pendant une heure.

A Leipzig, malgré l'importance de l'installation, il y a néanmoins, par suite de l'emploi de la batterie-tampon, une économie de 30 p. 100 par kilowatt-heure produit.

Pour le calcul d'une batterie-tampon, il conviendra de prendre la charge la plus importante, qui est en général celle du dimanche où le trafic est plus intense.

Schrœder a adopté une méthode simple de calcul. Si on appelle

r le coefficient de traction en kilogrammes par tonne.
s l'inclinaison en millimètres par mètre,
t la massse de la voiture en tonnes,
v la vitesse en mètres par seconde,
k le rendement du moteur, transmissions comprises,

la puissance nécessaire pour mouvoir la voiture, comptée aux balais du moteur est

$$P = \frac{(1{,}25\,r + s)\,tv}{75K} \qquad (1)$$

exprimée en chevaux.

Digitized by Google

Le coefficient 1,25 se rapporte aux démarrages.

On peut compter en effet qu'en pratique les démarrages augmentent la puissance moyenne de 25 p. 100 en moyenne.

Ce chiffre est basé sur ce qu'une voiture lancée peut, par sa force vive parcourir encore 75 m et qu'on peut compter en moyenne un arrêt tous les 300 m. Ce chiffre n'a rien d'absolu et peut devenir dans certains cas notablement supérieur ou notablement inférieur, soit que les arrêts soient plus fréquents, soit que le conducteur électricien n'arrête pas brusquement la voiture et profite de la vitesse acquise.

On calculera très simplement la puissance totale nécessitée par toutes les voitures à l'aide du graphique de la figure 1 qui se rapporte à une ligne de 8 km de longueur, avec départ de voiture toutes les dix minutes.

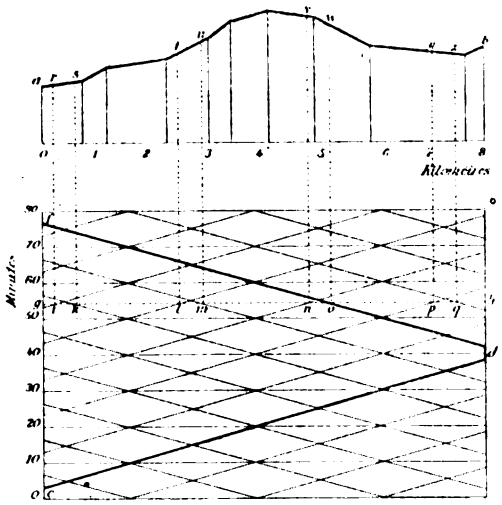


Fig. 1.

La ligne $c\,d\,f$ indique un voyage complet aller et retour qui s'effectue ici comme on voit en 80 minutes.

Pour avoir par exemple la puissance nécessaire à la minute 54, il suffira de tracer la ligne $g\,h$

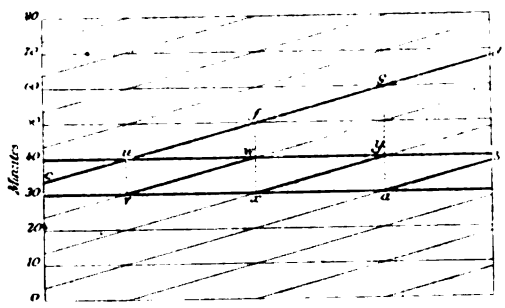


Fig. 2.

correspondante. Les points d'intersection i, k, l, m, n, o, p, q donnent à cet instant la position des voitures sur le profil. L'équation 1 appliquée à ces différentes voitures permettra d'avoir la puissance totale à cet instant.

En effectuant cette opération pour un certain nombre de points on pourra tracer la courbe des puissances nécessaires en fonction du temps. Il est bien évident d'ailleurs qu'il suffira ici de représenter cette courbe pour une période de dix minutes.

Pour l'évaluation de l'intensité moyenne on peut également simplifier à l'aide d'un graphique.

Dans la figure 2, les lignes horizontales en trait fort se rapportent à la 30e et à la 40e minute. Le travail à effectuer entre ces deux lignes est celui correspondant aux différentes lignes $c\,u$, $v\,w$, $x\,y$, $a\,b$. On voit évidemment que la ligne $c\,d$ est égale à $c\,u + v\,w + x\,y + a\,b$.

Par conséquent pour avoir le travail total, il suffira de calculer le travail total pour un voyage complet aller et retour. La puissance moyenne s'obtiendra en divisant ici le travail par 10×60 qui exprime le nombre de secondes.

On peut exprimer alors la règle suivante : pour obtenir la consommation moyenne du courant nécessaire pour toutes les voitures, il suffit de calculer le travail total nécessaire pour faire mouvoir une voiture une fois sur toute la ligne aller et retour et de diviser le travail trouvé par le temps en secondes qui sépare deux départs.

Digitized by Google

Pour l'estimation du travail, on n'aura pas à considérer les rampes inférieures à la valeur du coefficient de traction. Ainsi par exemple, sur une rampe de 9 millièmes, on aura, A étant le travail et w la longueur du parcours, et le coefficient de traction étant pris égal à 12 kgr par tonne,

pour la montée : $$A = \frac{(1{,}25.\ 12 + 9)\ t.w}{0{,}70}$$

et pour la descente $$A = \frac{(1{,}25.\ 12 - 9)\ t.w}{0{,}70}$$

La somme donne

$$A = \frac{1{,}25.\ 12.2.t.w}{0{,}70} = \frac{30\ t.w}{0{,}70} \qquad (2)$$

Ces deux valeurs se compensent; on peut ainsi considérer toutes les rampes inférieures à 12 p. 1000 comme paliers.

Pour les rampes supérieures à 12 millièmes, on pourrait aussi négliger les pentes et les rampes si on récupérait le travail pendant les pentes; mais il y a des inconvénients à cela, aussi on n'a à considérer ici dans les pentes que la dépense due aux démarrages, soit

$$A = \frac{(0{,}25.\ 12)\ t.w}{0{,}70}$$

et pour la montée

$$A = \frac{(1{,}25.\ 12 + s)\ t.w}{0{,}70}$$

La somme des deux équations donne la dépense pour l'aller et retour, soit

$$A = \frac{(18 + s)\ t.w}{0{,}70} \qquad (3)$$

Les deux équations 2 et 3 permettront de déterminer le travail moyen et par suite de calculer la machine dynamo et la machine à vapeur.

Pour le calcul de la batterie, dans le cas d'une installation où l'intensité descend à 0, on devra choisir la batterie capable d'absorber la charge totale de la machine. On devra considérer aussi que pour les accumulateurs l'intensité de charge est à l'intensité de décharge dans le rapport de 3 à 5 environ. Ayant le courant maximum de décharge, on prendra une batterie capable de fournir ce courant pendant une heure.

Par l'emploi des batteries-tampons il n'y a pas à tenir compte du maximum du coefficient de traction ni du maximum de trafic. Il suffira de prendre la moyenne de l'année.

S'il est recommandable d'installer des batteries-tampons dans les stations centrales, aussi bien dans le cas des petites que des grandes installations, il devient économique de placer la batterie sur la ligne même dans le cas des longs parcours.

C'est le cas de la ligne Haspe-Gevelsberg à Hagen en Westphalie.

La figure 3, donne le profil de la ligne et le graphique, et la figure 4, la situation en plan. Du kilomètre 19,7 au kilomètre 17,68, la ligne était déjà en exploitation et il s'agissait de décider s'il valait mieux faire l'exploitation directe pour la ligne 17,68 à 11,5 ou bien munir d'une batterie-tampan.

Dans ce but, il faut estimer ici les coûts d'installation et d'exploitation, toutes les autres conditions restant semblables dans les deux cas.

A. — *Emploi d'une batterie-tampon.* — La station d'énergie est située dans le local de

Digitized by Google

la Société de fabrique des accumulateurs et à 0,5 km de la borne kilométrique 19,7. Si on

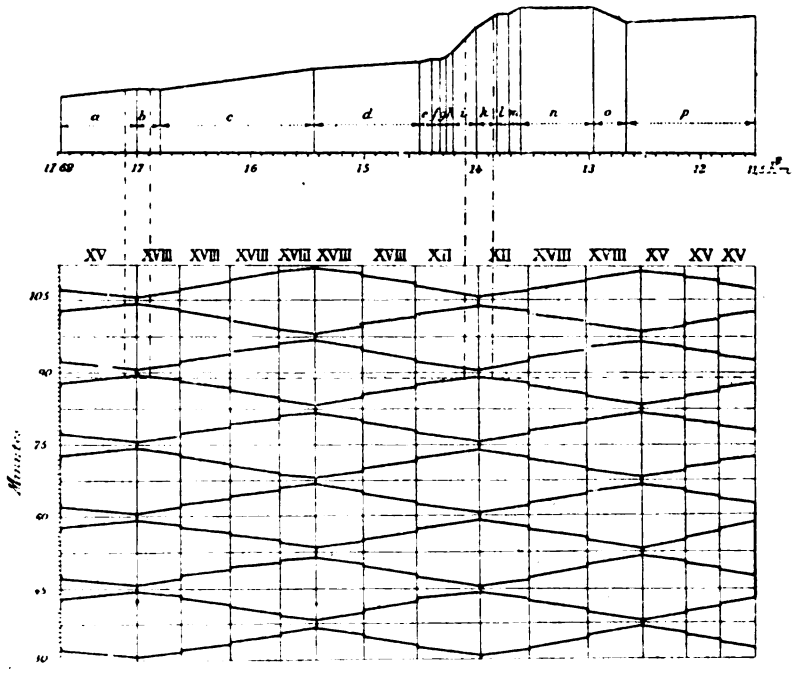


Fig. 3.

considère que la batterie est au kilomètre 14, la distance de la batterie à la station est

$$19{,}7 + 0{,}5 - 14 = 6{,}2 \text{ km}.$$

Le travail à fournir pour un voyage aller et retour se calcule par les formules 2 et 3 Le tableau suivant donne les calculs :

LIGNE	INCLINAISON en mm par m.	LONGUEUR en m.	EFFORT de traction.	TRAVAIL en kilogrammètres
a	8	680	30	20 400
b	6	200	30	6 000
c	8	1 350	30	40 500
d	6	925	30	27 750
e	26	100	44	4 400
f	4	70	30	2 100
g	17	70	35	2 450
h	28	50	46	2 300
i	58	240	76	18 240
k	30	175	48	8 400
l	10	100	30	3 000
m	25	100	44	4 400
n	0	650	30	19 500
o	14	280	32	8 960
p	6	1 190	30	35 700
		6 180		204 100

Digitized by Google

La voiture pesant 14 tonnes, avec un horaire à 15 minutes, une différence de potentiel utile de 500 volts (soit 550 volts aux machines) et un rendement de 0,70 pour le moteur et les transmissions, on a pour le courant moyen

$$I = \frac{14.204\,100.9{,}81}{15.60.500.0{,}70} = 89 \text{ ampères}$$

Pour la perte en volts dans les rails, on a

$$\frac{6.2.89}{70} = 8 \text{ volts.}$$

Il reste alors pour la perte en ligne $50 - 8 = 42$ volts, ce qui donne pour la section

$$\frac{6\,200.89}{57.42} = 230 \text{ mm}^2.$$

Calcul du coût d'installation.

Une batterie Tudor de 165 ampère-heures garantis peut donner comme plus haute valeur admise 101 ampères à la charge et 165 à la décharge.	
Prix d'une telle batterie	22 746,60 fr
Construction	4 444,45 »
Acquisition du terrain	987,65 »
Tableau de distribution	2 222,20 »
Conducteurs. — De la station au km 17.68 il y a 0,5 + 19,7 — 17,68 = 2,52 km On prendra 2 fils de 115 mm², soit 5 040 m de câble pesant 1,03 kg par m, soit 5 191 kg à 3,70 fr le kg	19 206,70 »
Comme il y a 2 conducteurs de 50 mm² du km 17,68 au km 14, il suffira d'un conducteur de 130 mm², soit 3 680 m de fil pesant 1,163 kg par m, soit 4 280 kg à 3,70 le kg	15 836 »
Isolateurs, montage, à 1,235 fr le m courant (5040 + 3 680) 1 235	10 765,30 »
Total	76 208,90 fr

Coût d'exploitation.

En comptant 5 p. 100 d'intérêt et un amortissement en :	
10 ans pour les accumulateurs, la valeur du vieux matériel étant alors 15 p. 100 du prix d'achat, soit 11,8 p. 100 de 22 746,60 fr	2 683,50 fr
40 ans pour la construction, soit 5,8 p. 100 de 4 444,45 fr	256,80 »
20 ans pour le tableau de distribution, soit 8 p. 100 de 2 222,20 fr.	177,80 »
20 ans pour les conducteurs, soit 8 p. 100 de 45 808 fr	3 664,60 »
Visite de batterie	1 353,10 »
Terrain, 5 p. 100 de 987,65 fr	49,40 »
Total	8 186,20 fr

B. — *Par exploitation directe.* — La charge maxima se produit à la minute 89 (voir fig. 3). A ce moment, une voiture se trouve sur la rampe 58 p. 1000. L'effort de traction étant alors 70 kg par tonne et la vitesse de 3,33 m par seconde, la puissance nécessaire par tonne est

$$70 \times 3{,}33 = 233 \text{ kgm par seconde.}$$

Une autre voiture se trouve dans la rampe 8 p. 1000 où la vitesse est de 5 m par seconde, ce qui donne pour la puissance nécessaire, par tonne

$$20 \times 5 = 100 \text{ kgm par seconde.}$$

Digitized by Google

Une autre, dans la rampe 6 p. 1000 exige par tonne.

$$18 \times 5 = 90 \text{ kgm par seconde.}$$

Une quatrième voiture se trouve en forte pente, d'où charge nulle et enfin une cinquième est en station à Gevelsberg.

La somme donne 423 kgm par seconde.

En y ajoutant 25 p. 100 pour les démarrages, on trouve 529 kgm par seconde.

L'intensité maximum nécessaire devient ;

$$I_{max} = \frac{14 \times 529 \times 9{,}81}{500 \times 0{,}70} = 207 \text{ ampères.}$$

La perte en volts dans les rails est alors

$$\frac{6.2 \times 207}{70} = 18 \text{ volts.}$$

et il reste pour la perte dans les conducteurs

$$50 - 18 = 32 \text{ volts}$$

ce qui donne pour la section des conducteurs

$$\frac{6\,200.\ 207}{57.\ 32} = 703 \text{ mm}^2$$

On prendra 5 conducteurs de 141 mm², soit 5 × 6 200 = 31 000 m de câble pesant 1,26 kg par m = 39 060 kg. Cuivre à 3,70 le kg.	144 664,55 fr
Matériel isolant et montage à 1,235 fr. le m courant, 31 000 × 1,235	38 271,05 »
Coût d'installation.	182 935,60 fr
Coût d'exploitation (intérêt 5 p. 100, amortissement en 20 ans, soit 8 p. 100 de 182 935,60 fr.	14 634,85 fr

On voit qu'ici les coûts d'installation et d'exploitation sont beaucoup plus élevés que dans le cas de l'exploitation avec batterie-tampon, particulièrement à cause de la hausse des cuivres.

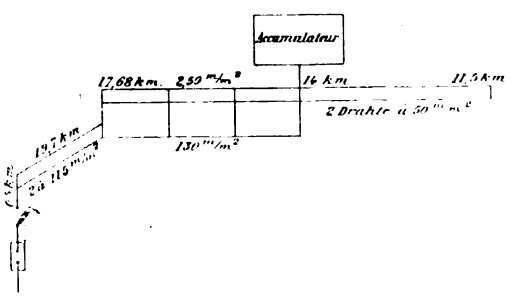


Fig. 4.

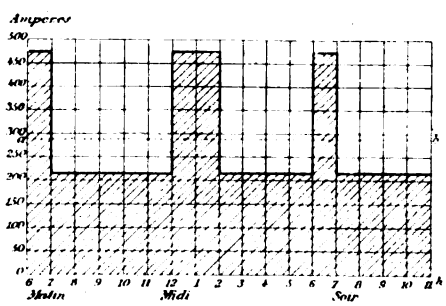


Fig. 5.

Indépendamment des variations instantanées du courant, les batteries-tampon peuvent aussi égaliser des charges variables à différentes heures de la journée.

Ainsi par exemple, sur la ligne München-Gladbach, de 6 à 7 heures matin, de midi à 2 heures et de 6 à 7 heures soir, l'exploitation se fait à 5 minutes avec remorquage. Il en résulte, comme le montre la figure 5 qu'à ces heures, la charge moyenne atteint 476 ampères alors que la moyenne de la charge journalière n'est que 289 ampères (ligne *ab*).

Digitized by Google

La capacité de la batterie devra être ici 2 (476 — 289) = 384 ampères-heures.

Si on considère maintenant les variations du voltage, celles-ci seront d'autant plus faibles que la résistance intérieure de la batterie-tampon sera faible également. Les variations du courant de la machine dépendront également de l'importance de la batterie.

La régularisation dépend aussi de la caractéristique de la machine : avec les machines hypercompound une batterie-tampon deviendrait nuisible ; les machines les mieux appropriées sont les machines shunt avec caractéristique fortement tombante.

L. JUMAU.

ACCUMULATEURS POUR AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

LE CONCOURS INTERNATIONAL DE L'AUTOMOBILE-CLUB

I. — ORGANISATION ET RÉSULTATS DU CONCOURS

Le concours de fiacres organisé en juin 1898 par l'Automobile-Club de France (1), si fertile en renseignements sur la puissance de l'énergie électrique consommée par les différentes voitures dans des conditions de vitesse, de rampes, et de terrains les plus variées, démontra la possibité d'assurer un service de fiacres au moyen d'automobiles électriques, mais n'apprit rien sur la valeur relative des accumulateurs, tant par suite de sa faible durée, que du fait que tous les fiacres ayant pris part au concours, étaient munis d'accumulateurs Fulmen.

Le concours de fiacres demandait donc à être complété par un concours d'accumulateurs. Sur la proposition de M. Jeantaud, le Comité de l'A. C. F. en décida le principe. Une Commission fut nommée immédiatement en vue d'organiser le nouveau concours (2) et en décembre 1898 elle en publiait le règlement (3).

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 494, 18 juin 1898, t. XVI. p. 60, 9 juillet 1898 et t. XVII, p. 16, 1er octobre 1898.

(2) Cette commission est ainsi composée :

PRÉSIDENT : M. G. Forestier ; VICE-PRÉSIDENT et RAPPORTEUR : M. E. Hospitalier ; SECRÉTAIRE : M. le comte G. de Chasseloup-Laubat ; MEMBRES : MM. Amiot, Bixio (Maurice), Bouhey (Etienne), Bourdil (Fernand), Brault (Camille), Broca (Georges), Clausonne (de), Delattre, Deprez (Marcel), Eschwège (Paul), Falconnet, Gourdon, Hérard (Fernand), Jeanteaud (Charles), Jenatzy (Camille), Knyff (chevalier René de), Krebs (Arthur), Kriéger (Louis), La Beaume Pluvinel (comte A. de), Michel-Lévy (A.), Mildé (Charles), Monmerqué (Arthur), Monnier (D.), Mors (Emile), Philippart (G.), Rechniewski (W.-C. de), Sarcia (Jules), Sartiaux (Eugène), Solignac (Louis), Talansier (Charles), Walckenaer (Charles).

Et le Conseil d'administration de l'A. C. F.

(3) Ce règlement a été publié dans le *Supplément* de ce journal du 17 décembre 1893 (t. XVII, p. CIX); nous croyons cependant utile pour faciliter la compréhension des tableaux donnés plus loin de le reproduire ici :

ARTICLE PREMIER. — Sous le patronage et la direction de l'*Automobile-Club de France*, Société d'encouragement pour le développement de l'industrie automobile, un concours international est organisé entre les fabricants ou inventeurs d'accumulateurs pour voitures automobiles circulant sur les chaussées ordinaires.

ART. 2. — Le concours aura lieu à Paris le deuxième lundi d'avril 1899 et jours suivants.

ART. 3. — Le concours portera :

a. Sur la durée des éléments.

b. Sur le rendement industriel de la batterie, c'est-à-dire sur le rapport entre l'énergie fournie aux bornes des accumulateurs pendant la charge et l'énergie débitée pendant la décharge.

c. Sur la fréquence, l'importance et la facilité des opérations d'entretien.

d. Sur le poids des accumulateurs comparé à leur débit et à leur capacité.

Le tout dans des conditions de trépidations et de variations de débit aussi semblables que possible à celles que les accumulateurs auraient à subir en service sur des voitures automobiles.

***

Digitized by Google

A la date du 10 avril 1899 fixée par le règlement pour l'ouverture du concours, 23 bat-

Art. 4. — Le nombre de batteries n'est pas limité, mais aucun concurrent ne pourra présenter plusieurs batteries du même type.

Art. 5. — Pour chaque batterie engagée, il sera payé une entrée de 500 fr. jusqu'au 31 janvier 1899 inclus, et une entrée double à partir de ce jour jusqu'au 28 février 1899, date à laquelle la liste des concurrents sera irrévocablement close à minuit.

Toute demande d'inscription devra être accompagnée du droit d'entrée qui, en tout cas, restera acquis à la caisse de l'A. C. F.

La commission dont il sera question à l'article 14 pourra exonérer de la moitié de ce droit les concurrents qui lui paraîtront le mériter.

Art. 6. — Les batteries *chargées* devront parvenir au local consacré aux opérations du concours le mardi 4 avril avant six heures du soir, délai de rigueur, pour permettre l'installation des appareils de mesure, de contrôle, de décharge et de trépidation.

Ce même jour, les concurrents remettront au président de la Commission une notice descriptive accompagnée de tous les dessins et échantillons nécessaires. Cette notice devra indiquer aussi le prix de vente de la batterie.

Art. 7. — Les épreuves du concours dureront, en principe autant qu'il sera nécessaire pour mettre hors service toutes les batteries. Cependant ces épreuves seront closes après six mois.

Art. 8. — Chaque batterie présentée au concours, composée d'un nombre approprié d'éléments et contenue dans une caisse de groupement, ne devra pas peser plus de 110 kg, non compris la caisse de groupement. Cette batterie devra pouvoir fournir 120 ampères-heure au régime constant de 24 ampères pendant cinq heures, sans que la différence de potentiel s'abaisse au-dessous de 8,5 volts.

Art. 9. — Les épreuves auront lieu par périodes de six jours séparées par un jour de repos.

Un jour par semaine, les batteries seront déchargées en tension, sans trépidations, au régime constant de 24 ampères pendant cinq heures. Toute batterie dont la différence de potentiel aux bornes, pendant ces essais, tomberait au-dessous de 8,5 volts, sera retirée du circuit.

Après quatre mises hors circuit, la batterie sera définitivement éliminée.

Le septième jour (dimanche) sera un jour de repos.

Art. 10. — La charge sera faite en huit heures au maximum sur les batteries montées en tension, avec un courant décroissant dont l'intensité initiale ne dépassera pas 30 ampères et dont l'intensité finale sera d'environ 15 ampères. La charge de chaque batterie sera arrêtée chaque jour sur l'indication du concurrent ou de son représentant dûment accrédité.

Art. 11. — Pendant les intervalles de repos qui sépareront la décharge de la charge et qui n'excéderont jamais deux heures, les concurrents ou leurs représentants seront autorisés à visiter leurs batteries, à maintenir la richesse de la solution électrolytique, à nettoyer les éléments, mais ils ne pourront changer aucune plaque, ni rien y ajouter.

Art. 12. — Outre un compteur de quantité servant à déterminer la quantité d'électricité totale fournie aux ou débitée par l'ensemble des batteries, un compteur d'énergie affecté à chaque batterie mesurera les quantités d'énergie absorbées par et fournies à chacune d'elles, de manière à permettre la détermination de leur rendement industriel.

Un voltmètre industriel monté en dérivation sur les bornes de chaque batterie permettra de suivre les variations de la différence de poteniel pendant les charges et décharges successives. Ses indications seront vérifiées périodiquement à l'aide d'un voltmètre étalon.

Pendant cinq autres jours, les batteries seront soumises, pendant cinq heures, à l'aide d'un appareil automatique, à des trépidations aussi analogues que possible à celles qu'elles éprouveraient sur des véhicules automatiques circulant sur des chaussées empierrées ou pavées ordinaires.

Pendant ces cinq heures, les batteries montées en série seront soumises à des régimes de décharge à intensité variable suivant le tableau et le diagramme ci-dessous.

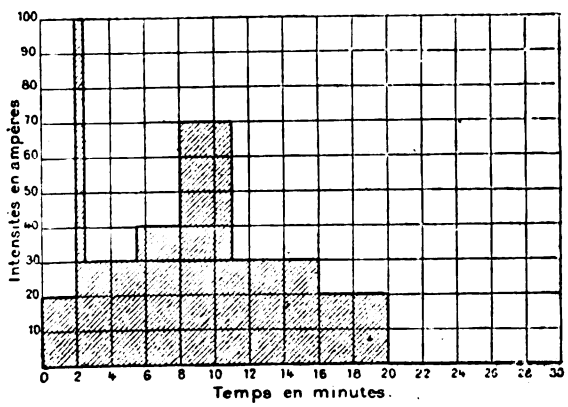


Fig. 1.

Ce diagramme de décharge, réalisé à l'aide d'un commutateur tournant en une demi-heure, sera reproduit dix fois de suite, chaque tour complet correspondant à une quantité d'électricité sensiblement égale à 12 ampères-heure.

TABLEAU DE DÉCHARGE DES BATTERIES

intensités en ampères.	Durées en minutes.	Quantités d'électricité en ampères-minute.
20	2	40
100	0,5	50
30	3	60
40	2,5	100
70	3	210
30	5	150
20	4	80
0	10	0
Totaux. . . .	30	729

Digitized by Google

teries étaient engagées par 18 concurrents. Le tableau suivant donne la liste des engagements dans l'ordre des inscriptions indiqué par le numéro matricule ; il donne également pour 17 des batteries la lettre matricule correspondant à la place occupée sur le chariot trépidateur et la nature des plaques (tous les accumulateurs présentés étaient du type plomb-plomb).

TABLEAU I. — *Liste des engagements.*

NUMÉRO MATRICULE	LETTRE MATRICULE	NOMS DES CONCURRENTS	NATURE DES PLAQUES	
			+	—
1.	F.	Société anonyme pour le travail électrique des métaux. Paris.	Planté.	Faure.
2.	L.	Compagnie générale électrique. Nancy. Plaques Pollak. . . .	Faure.	Faure.
3.	K.	Société Tudor. Paris. Bruxelles. Londres.	Planté.	Faure.
4.	C.	— —	Planté.	Faure.
5.	»	— —	»	»
6.	»	Vereinigte Accumulatoren- und Elektricitäts-Werke. Berlin. .	»	»
7.	T.	Societa italiana di elettricità gia à Cruto. Plaques Pescetto. .	Faure.	Faure.
8.	Q.	Lagarde. Paris	Faure.	Faure.
9.	E.	Wüste et Rupprecht. Vienne (Autriche).	Faure.	Faure.
10.	O.	Compagnie des accumulateurs électriques Blot. Paris. Plaques Blot-Fulmen	Planté.	Faure.
11.	N.	Société de l'accumulateur Fulmen. Clichy.	Faure.	Faure.
12.	H.	Société d'études des accumulateurs Phénix. Levallois.	Faure.	Faure.
13.	I.	— —	Faure.	Faure.
14.	»	Marzi. Rome.	»	»
15.	»	Compagnie générale d'électricité. Paris. Plaques Pulvis. . . .	»	»
16.	D.	John Garfield Hathaway. Londres	Faure.	Faure.
17.	P.	Société des soudières électrolytiques. Gavet-Clavaux (Isère). .	Faure.	Faure.
18.	J.	Franz Heimel. Vienne (Autriche).	Faure.	Faure.
19.	M.	W. Pope and Son. Slough (Angleterre). Plaques Sherrin. . .	Faure.	Faure.
20.	»	Pautier frères. Angoulême).	»	»
21.	»	Société d'études des accumulateurs Phénix. Levallois.	»	»
22.	S.	W. Pope and Son. Slough (Angleterre). Plaques Sherrin. . .	»	»
23.	B.	Franz Heimel. Vienne (Autriche).	Faure.	Faure.

Diverses causes, parmi lesquelles le non-achèvement des travaux de l'hôtel de l'A. C. F. et du sous-sol réservé au concours, eurent pour conséquence de retarder de plusieurs semaines l'ouverture du concours. Le samedi 3 juin, date à laquelle les dispositifs de vérification étudiés par M. Hospitalier et montés par M. Mildé furent prêts, la première charge officielle fut donnée à 14 batteries. Les lundi 5 et mardi 6 juin, les décharges furent faites à intensité constante, l'appareil à décharge variable, étudié par M. Solignac et construit par M. Bidaut, n'ayant été prêt que le mercredi 7 juin. A partir de cette dernière date, les décharges furent faites conformément au règlement.

ART. 13. — Le courant sera fourni par la Commission aux concurrents et à leurs frais, au prix maximum de 1 fr. le kilowatt-heure, tous autres frais restant à la charge de l'Automobile-Club.

ART. 14. — L'exécution de ce programme sera confiée à une Commission composée de membres de l'Automobile-Club non concurrents *bona fide*, nommés par le Comité de l'Automobile-Club. En sus des commissaires, le président de cette Commission pourra utiliser des ingénieurs-électriciens nommés par lui pour effectuer les essais et exercer la surveillance nécessaire.

Du fait de leur inscription, les concurrents s'engagent se conformer aux décisions de cette Commission, qui demeure seule juge de toutes les questions que pourrait soulever l'application du présent programme.

ART. 15. — Cette Commission sera chargée de rédiger un rapport détaillé. Outre ce rapport, elle publiera périodiquement un compte rendu sommaire des résultats obtenus.

ART. 16. — Des médailles et diplômes pourront être délivrés aux concurrents.

ARS. 17. — Les responsabilités civiles et pénales resteront à la charge des concurrents à qui elles incomberont, étant bien entendu que l'Automobile-Club décline toute responsabilité de quelque nature qu'elle soit.

Digitized by Google

Le 10 juin, deux nouvelles batteries, 9 E et 23 B, furent mises en essai; le même jour, la batterie 16 D fut enlevée et ne fut pas remplacée; le 24 juin, la batterie 22 S fut mise en circuit pour la première fois; 16 batteries se trouvaient alors prendre part au concours.

Ce ne fut que le 19 juillet qu'on put mettre en marche l'appareil trépidateur étudié par M. de Chaiseloup-Laubat et construit par M. Jeantaud. Encore cet appareil n'a-t-il fonctionné que 122 heures correspondant à un parcours d'environ 1800 km sur terrain accidenté.

Nous reviendrons plus tard sur la description de la salle d'essais (1); nous donnerons également dans de prochains articles la description des batteries ayant pris part au concours (2). Aujourd'hui nous nous bornerons à faire connaître les résultats généraux du concours en reproduisant les extraits suivants du rapport sommaire que M. E. Hospitalier a déposé, le 3 janvier, seulement un mois après la fin des essais, au nom de la Commission du Concours :

CHARGES ET DÉCHARGES. — La première charge officielle a été fournie le 3 juin et la dernière décharge officielle le 2 décembre.

Le nombre officiel de charges et de décharges est donc de 153 réparties sur 26 semaines.

La durée théorique totale de ces 153 charges et 153 décharges est de 765 heures pour chaque nature d'opération.

26 décharges à courant constant sans trépidations	130 heures
127 » » » avec »	635 »
Total	765 heures

Pour des raisons diverses, le trépidateur n'a pu fonctionner réellement que 122 heures 40 minutes ainsi réparties :

	Heures.	Minutes.
Juin	0	»
Juillet	16	30
Août	11	15
Septembre	26	40
Octobre	24	45
Novembre	43	»
Total	122	40

(1) L'installation de la salle d'essais a pu être faite dans des conditions économiques, grâce aux concours de certains constructeurs, qui ont mis à la disposition de l'A. C. F., à titre absolument gracieux, une bonne partie du matériel nécessaire aux opérations du concours.

La Compagnie continentale pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines a installé et vérifié dix-huit compteurs d'énergie (15 volts, 100 ampères) et deux compteurs de quantité.

MM. Chauvin et Arnoux ont fourni le voltmètre et l'ampèremètre du tableau, un voltmètre de 15 volts pour l'étude des batteries, et un ampèremètre enregistreur pour les charges et décharges.

Les bandages en caoutchouc du chariot de l'appareil trépidateur ont été fournis par les maisons : Falconnet-Perodeaud et Cie; Torrilhon et Cie; Compagnie des bandes en caoutchouc pour véhicules (bandes Kelly).

(2) Quelques-unes de ces batteries ont déjà été décrites dans la série de monographies que notre dévoué collaborateur J. Reyval est parvenu à rassembler sur les « Accumulateurs pour automobiles électriques », malgré le peu d'empressement qu'ont montré quelques constructeurs à lui fournir les renseignements nécessaires : voici les noms des accumulateurs décrits dans ces articles :

FULMEN, t. XVII, p. 313, 19 novembre 1898. — FAURE-SELLON-VOLCKMAR (système Valls et Cie), t. XVII, p. 407, 3 décembre 1898. — PULVIS, t. XVII, p. 522, 24 décembre 1898. — SOCIÉTÉ POUR LE TRAVAIL DES MÉTAUX, t. XVII, p. 545, 31 décembre 1898. — PISCA, t. XVIII, p. 86, 21 janvier 1899. — BOUQUET-GARCIN-SCHIVRE, t. XX, p. 94, 22 juillet 1899. — OSBURN, t. XX, p. 97, 22 juillet 1899. — PHŒBUS (A. Kaindler), t. XX, p. 124, 29 juillet 1899. — RAMON DA SOUZA, t. XX, p. 330, 2 septembre 1899. — PESCETTO, t. XXI, p. 137, 28 octobre 1899.

Digitized by Google

TABLEAU II

État des batteries mises hors circuit aux décharges à intensité constante.

NUMÉRO MATRICULE	LETTRE MATRICULE	1re MISE HORS CIRCUIT			2me MISE HORS CIRCUIT			3me MISE HORS CIRCUIT			4me MISE HORS CIRCUIT		
		Date.	Nombre de décharges réelles.	Énergie débitée en kw-h.	Date.	Nombre de décharges réelles.	Énergie débitée en kw-h.	Date.	Nombre de décharges réelles.	Énergie débitée en kw-h.	Date.	Nombre de décharges réelles.	Énergie débitée en kw-h.
23	B.	17 juin .	7	55	1er juil.	12	91	8 juil..	»	95	15 juil..	»	»
4	C.	8 juil..	25	254	15 juil..	28	277	22 juil..	32	303,5	29 juil..	»	»
9	E.	17 juin .	4	38	24 juin .	9	86	1er juil.	15	138,5	8 juil..	16	145,5
1	F.	12 août.	59	644	19 août.	61	664,5	2 sept.	66	716	9 sept.	**71**	764
12	H.	7 oct. .	99	1 164	12 oct. .	**102**	1 188,5	7 sept.(1)	»	»	»	»	»
13	I.	8 juil..	23	255	15 juil..	25	275,5	29 juil..	28	307,5	5 août.	30	318,5
18	J.	17 juin .	10	118	15 juil..	30	265	22 juil..	36	322	29 juil..	41	360,5
3	K.	12 août.	59	631	16 sept.	85	882,5	23 sept.	89	905,5	18 nov..	**135**	1 358,5
2	L.	19 août.	63	658,5	26 août.	67	697,5	2 sept.	73	759,5	9 sept.	**76**	795,5
19	M.	1er juil.	23	261,5	8 juil..	28	307,5	15 juil..	33	341	22 juil..	39	375
11	N.	15 juil..	35	390,5	16 sept.	86	921,5	23 sept.	92	970	30 sept.	**98**	1 022,5
10	O.	21 oct. .	118	1 312,5	28 oct. .	124	1 370	4 nov..	129	1 412	11 nov..	**132**	1 439
17	P.	15 juil..	35	320	22 juil..	41	364	29 juil..	47	406	5 août.	53	446,5
8	Q.	1er juil.	24	265,5	8 juil..	28	295,5	15 juil..	31	327	22 juil..	36	363,5
22	S.	18 nov..	123	1 433	25 nov..	129	1 495	2 déc..	**135**	1 555	»	»	»
7	T.	14 oct. .	102	1 085,4	21 oct..	108	1 138,5	11 nov..	121	1 258	18 nov..	**128**	1 306

(1) Tombée par accident du trépidateur.

(2) Les chiffres gras indiquent le nombre total de décharges des batteries ayant subi plus de 60 décharges.

TABLEAU III

Conditions de construction et de fonctionnement des batteries et des éléments.

RÉSULTATS DU CONCOURS — PRINCIPAUX FACTEURS SPÉCIFIQUES

CONDITIONS DE CONSTRUCTION ET DE FONCTIONNEMENT	1 F MÉTAUX	2 L POLLAK	3 K TUDOR	7 T PESCETTO	10 O BLOT-FULMEN	11 N FULMEN	12 H PHÉNIX	22 S POPE
BATTERIE								
Poids, en kg :								
Avec caisse de groupement	104,0	119,5	125,7	128	109,8	76,5	102	110
Sans —	95,5	110	107,5	106	98	67,5	92	100
Encombrement, en cm :								
Longueur	75	88	98	115	73	59	64	90
Largeur	21	24	19	22	23	20	15	26
Hauteur	30	36	34	35	35	33,5	60	37,5
Volume, en dm³	47,4	76	63,3	88,5	58,7	39	57,6	87,5
Nombre officiel de charges-décharges pendant la vie de la batterie	82	82	141	141	135	100	103	135
Nombre de charges réelles	82	82	139	141	135	100	103	135
Nombre de décharges réelles	71	76	135	128	132	98	102	135
Nombre de décharges :								
Complètes	61	61	105	68	112	56	99	132
Partielles	10	15	30	60	20	42	3	3

Digitized by Google

CONDITIONS DE CONSTRUCTION ET DE FONCTIONNEMENT	1 F MÉTAUX	2 L POLLAK	3 K TUDOR	7 T PESCETTO	10 O BLOT-PULMEN	11 N FULMEN	12 H PHÉNIX	22 S POPE
Énergies :								
Energie totale absorbée, en kw-h	136,05	133,75	226 65	228,8	210,85	154,7	180.9	220,75
— restituée, —	76,4	79,55	135,85	130,6	143,9	101,9	118 85	155,5
Énergie restit. en kw-h, pend. déch. compl.	66,5	65,8	110.95	75,8	124	64,1	116,35	152,55
— — incompl.	9,9	13,75	24,9	54,8	19,9	37,8	2,5	2,95
Énergie totale absorbée / Nombre officiel de charges, en kw-h	1,66	1,63	1,607	1,622	1,560	1,547	1,756	1,635
Energie totale restituée / Nombre officiel de décharges, en kw-h.	0,93	0,97	0,964	0,926	1,065	1,019	1,154	1,151
ÉLÉMENTS								
Poids, en kg :								
Electrolyte	4,5	3,5	3	4	3	2,20	4,80	2,5
Bac	1,9	1,51	1,99	2	1,125	1,70	1,20	1,27
Plaques	12,345	15,60	15,95	14,64	14,90	9,29	12	15,765
Elément prêt à fonctionner	19,1	22	21,50	21,20	19,60	13,50	18,40	20
Dimensions d'encombrement du bac, en cm :								
Longueur	13,7	14	18,5	haut 20,5 / bas 16,5	19	18	12	20,7
Largeur	18,3	18,5	15,5	18,5	13	11,3	12	13,2
Hauteur	29	28,5	27,5	25	26	24	57	26,5
Volume du bac, en dm³	7,26	7,36	7,90	8,19	6,42	5,16	8,2	7,25
Nombre total de plaques	15	13	11	15	17	21	~~18~~ 1080	17
PLAQUES.								
Dimensions, en cm :								
Hauteur	20,2	18	17,8	15,8	20	18,3	7	20
Largeur	12,2	17	16,3	14,2	12,5	10	0,6	11,5
Epaisseur de la plaque positive (+)	0,8	0,5	0	0,6	0,8	0,4	0,6	1,3
— négative (—)	0,4	0,5	0.5	0,55	0,4	0,4	0,6	0,5
Poids, en kg :								
Positive	1,110	1,250	1,800	0,960	1,120	0,445	0,012	1,120
Négative	0,500	1,150	1,155	0,990	0,600	0,440	0,012	0,600
FACTEURS SPÉCIFIQUES								
Énergies spécifiques :								
Energie totale absorbée, en kw-h / Poids total, en kg	1,42	1,216	2,1	2,158	1,952	2,291	1,966	2,207
Énergie totale restituée, en kw-h / Poids totale, en kg.	0,8	0,723	1,263	1,232	1,332	1,509	1,291	1,555
Énergie restit. pendant les décharg. complèt., en kw-h / Poids total, en kg.	0,735	0,60	0,975	0,715	1,263	0,95	1,263	1,53
Énergie totale absorbée en, w-h / Nombre officiel. Poids total en kg.	17,3	14,8	14,9	15,3	14,4	22,9	19	16,3
Energie totale restituée, en w-h / Nombre officiel. Poids total, en kg	9,7	8,8	8,9	8,7	9,8	15	12,5	11,5
Poids spécifiques, en kg : kw-h.								
Rapporté à l'énergie moyenne disponible. Poids total, en kg / Energie moyenne disponible, en kw-h	101,2	111,7	110,6	136,3	92,2	65	80	87
Rapporté à l'énergie moyenne disponible pendant les décharges complètes. Poids total, en kg / Energie moyenne dispon. aux décharg. compl. en kw-h.	87,4	101,8	100,5	91,5	89	59,3	75,4	86,3
Rendements, en pour 100 :								
Rendement maximum hebdomadaire	76,5	68,5	67	67,5	76	77	73	74
— mensuel	73	65	66	60,5	74	76	70	73
Rendement minimum hebdomadaire	18	12	18	17	31	49	33,5	64,5
— mensuel	36,5	43	49,5	48	30	55	51	62,5
Rendement moyen	56	59,5	60	57	68	66	66	70

Digitized by Google

L'arrêt définitif a eu lieu le 14 novembre. Le rapport de la durée réelle des trépidations à la durée théorique de marche est :

$$\frac{122,66}{635} = 0,19$$

soit un peu moins de *un cinquième*.

Décharges éliminatoires. — Par application de l'article 9 du règlement, les batteries ont été soumises tous les samedis à des décharges constantes à 24 ampères et mises quatre fois hors circuit avant d'être définitivement éliminées par application de l'article 9 du règlement. Le tableau II (*État des batteries mises hors circuit aux décharges à intensité constante*) fournit les dates de ces mises hors circuit, le nombre de décharges officielles effectuées et l'énergie totale fournie après chacune de ces mises hors circuit.

Ce tableau montre que, pour des raisons diverses que nous n'avons pu apprécier ici, un certain nombre de batteries n'étaient pas suffisamment préparées à subir les épreuves du concours. La Commission a décidé de ne faire état, dans ce procès-verbal sommaire et dans le rapport général, que des batteries ayant fourni au moins *soixante* décharges complètes avant élimination définitive.

Sur les dix-huit batteries expérimentées, *huit* ont satisfait à ces conditions. Nous en donnons la nomenclature avec le numéro matricule, la lettre matricule, et le nom abrégé sous lequel nous les désignerons à l'avenir :

1. F. *Métaux*.
2. L. *Pollak*.
3. K. *Tudor*.
7. T. *Pescetto*.
10. O. *Blot-Fulmen*.
11. N. *Fulmen*.
12. H. *Phénix*.
22. S. *Pope*.

Le tableau III résume les principales conditions de construction et de fonctionnement des huit batteries énumérées ci-dessus, ainsi que les principaux facteurs spécifiques qui permettent les comparaisons.

Un seul facteur de ce tableau exige quelques explications. L'intervalle de temps écoulé entre l'époque où une batterie X a reçu sa première charge et celle où elle a fourni sa dernière décharge a reçu le nom de *Vie officielle de la batterie*. Pendant cette vie officielle, l'ensemble des batteries a reçu un certain nombre de charges et un nombre égal de décharges auxquelles la batterie X considérée a ou n'a pas participé. C'est ce nombre d'opérations que nous avons désigné dans le tableau par l'expression : *Nombre officiel de charges-décharges pendant la vie de la batterie*. C'est une limite maxima dont les charges et décharges réelles, complètes ou partielles, se rapprochent d'autant plus que l'allure de la batterie, pendant sa vie officielle, a été plus régulière.

Les détails des expériences et l'appréciation des résultats feront l'objet d'un Rapport complet actuellement en préparation, et dont la publication n'aura lieu qu'après approbation par la Commission.

Terminons par quelques renseignements sur les huit batteries qui ont fourni au moins 60 décharges complètes avant élimination définitive :

1. F. *Métaux*. — La batterie n'a pas subi les décharges n^{os} 60, 61, 62, 66, 67, 68, 69, 73, 74, 65 et 81.

Les séparations isolantes des plaques ont été lavées après la décharge n° 44.

Les éléments de la batterie ont été nettoyés et l'acide a été changé après les décharges n^{os} 61, 67 et 69.

2. L. *Pollak*. — La batterie n'a pas subi les décharges n^{os} 61, 65, 69, 78 et 81.

Elle a été nettoyée et l'acide a été remplacé après les décharges n^{os} 60 et 64.

3. K. *Tudor*. — La batterie n'a pas subi les décharges n^{os} 60, 61, 62, 92, 93, 94 et 95.

Les éléments ont été nettoyés et l'acide a été changé après les décharges n^{os} 62 et 93.

7. *Pescetto*. — La batterie n'a pas subi les décharges n^{os} 16, 21, 66, 68, 71, 77, 83, 95, 97, 101, 119, 123, 127 et 134.

Digitized by Google

Les éléments ont été nettoyés et l'acide a été remplacé après les décharges nos 34, 69 et 139.

10. O. *Blot-Fulmen* — La batterie n'a pas subi les décharges nos 132, 133 et 134.

La batterie a été nettoyée et l'acide a été remplacé après les décharges nos 85, 97, 128, 131 et 134.

11. *Fulmen*. — La batterie n'a pas subi les décharges nos 38 et 49.

La batterie a été nettoyée après les décharges nos 39 et 83.

12. H. *Phénix*. — La batterie, placée sur le chariot trépidateur après la 7e décharge, n'a pas subi les décharges nos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 107 et 110,

Les éléments ont été nettoyés et l'acide a été changé après les décharges nos 106 et 109.

La batterie a été détruite à la suite d'un accident, après la décharge n° 109.

22. S. *Pope*. — La batterie, placée sur le chariot trépidateur après la 18e décharge, n'a pas subi les décharges nos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 et 18.

Dans le prochain article nous donnerons la description de ces batteries.

(A suivre.)

J. Blondin.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MOTEURS ÉLECTRIQUES

Du frottement dans la marche à vide des moteurs d'induction, par Rudolf **Braun**. *Elecktrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 685, 28 septembre 1899.

La connaissance des pertes par frottement dans les moteurs d'induction (frottement dans les paliers et ventilation) a une certaine importance pour le constructeur, car ces pertes constituent une notable partie de la dépense à vide dans ces moteurs : d'autre part, dans les limites ordinaires de la pratique, on peut admettre qu'elles restent sensiblement constantes à toutes les charges, bien qu'elles puissent varier un peu, suivant le mode d'utilisation du moteur.

L'auteur cite d'abord trois méthodes de mesure de ces pertes.

La première consiste à mesurer au wattmètre l'énergie absorbée par le moteur tournant à vide, puis à ouvrir le circuit de l'armature (supposée par suite munie d'un bobinage et non en cage d'écureuil), et faire rapidement une seconde lecture. La vitesse décroissant d'abord très lentement, on peut admettre que la dépense d'aimantation du fer reste la même que dans la première mesure, et, si on fait abstraction des pertes Joule dans le cuivre de l'armature en marche à vide (pertes très faibles d'ailleurs), la différence des deux lectures au wattmètre donne les pertes par frottements mécaniques cherchées.

La deuxième et la troisième méthodes indiquées par l'auteur reposent respectivement sur l'observation de la décroissance de vitesse du moteur lancé, et sur l'emploi d'un petit moteur auxiliaire étalonné ; les mesures qu'elles exigent sont communes à toutes les mesures de pertes à vide et fort connues.

Ces deux dernières méthodes nécessitent d'ailleurs une installation assez compliquée et demandent un temps assez considérable : aussi l'auteur y ajoute-t-il une quatrième méthode qui permet, étant connus le glissement à vide et le glissement à une charge donnée, de calculer simplement les pertes par frottement, et de comparer le résultat avec celui qu'a donné la première méthode.

Adoptons les notations suivantes :

$\mathcal{T}$, travail effectif du moteur en charge ;

$\mathcal{T}f$, travail absorbé par le frotttement à vide ;

$\mathcal{T}_0$, perte dans le cuivre de l'armature à vide ;

R, résistance d'une phase de l'armature ;

c et c_0, facteurs de forme du courant de l'armature en marche normale et à vide ;

λ, constante par laquelle il faut multiplier la

Digitized by Google

force électromotrice dans une spire pour avoir la force électromotrice totale dans l'armature ;

f_1, fréquence du courant d'alimentation du moteur ;

f et f_0, fréquences du courant dans l'armature en charge et à vide ;

Γ_0, couple de frottement à vide en kilogrammètres ;

Φ et Φ_0, flux totaux traversant une spire et y engendrant la composante de la force électromotrice en phase avec le courant, en charge et à vide ;

$2p$, nombre de pôles du moteur.

La force électromotrice, en phase avec le courant, engendrée dans l'induit, est à vide

$$e = \frac{4}{c_0} f_0 \lambda \Phi_0 10^{-8}$$

d'où nous déduisons, pour la perte dans le cuivre de l'induit,

$$(1) \quad \mathcal{C}_0 = \frac{e^2}{R} = \left(\frac{4}{c_0} f_0 \lambda \Phi_0 10^{-8}\right)^2 \frac{1}{R} = K_0 f_0^2,$$

K_0 désignant une constante.

En partant du couple Γ_0, on obtient une autre expression de $\mathcal{C}_0$,

$$(2) \quad \mathcal{C}_0 = \Gamma_0 . 2\pi . 9.81 \frac{f_0}{p} = K_1 \Gamma_0 f_0$$

d'où

$$(3) \quad \Gamma_0 = \frac{K_0}{K_1} f_0.$$

Le travail de frottement à vide est donné par l'expression

$$(4) \quad \mathcal{C}_f = \Gamma_0 . 2\pi . 9,81 \frac{f_1 - f_0}{p} = K_1 \Gamma_0 (f_1 - f_0)$$

et d'après (3)

$$(5) \quad \mathcal{C}_f = K_0 f_0 (f_1 - f_0).$$

Telle est l'expression du travail de frottement dans la marche à vide.

Si maintenant le moteur fournit un travail $\mathcal{C}$, la fréquence des courants induits devient f, et on a une équation analogue,

$$(6) \quad \mathcal{C}_f + \mathcal{C} = K f (f_1 - f),$$

la constante n'étant plus la même, car le flux qui traverse l'induit s'affaiblit par suite de la réaction de l'armature et de la dispersion ; K est plus petit que K_0. On admet que les formes de courant restent les mêmes.

En comparant (5) et (6) on obtient,

$$(7) \quad \mathcal{C} = \frac{\mathcal{C}_f}{\frac{K}{K_0} \cdot \frac{f}{f_0} \frac{f_1 - f}{f_1 - f_0} - 1}.$$

D'ailleurs

$$\frac{K}{K_0} = \frac{\Phi^2}{\Phi_0^2}.$$

Pour les moteurs usuels de bonne construction, l'auteur admet pour ce rapport une valeur moyenne de 0,9.

On peut d'ailleurs le déduire des mesures de dispersion.

Inversement on peut aussi utiliser la formule (7) pour calculer l'accroissement de dispersion entre la marche à vide et la pleine charge, si l'on a au préalable déterminé au wattmètre (1re méthode), les frottements à vide.

L'auteur donne ici quelques exemples montrant la concordance des résultats obtenus par la première méthode (wattmètre), et la quatrième.

Il emploie la formule (7) modifiée, en remplaçant les fréquences f par le nombre d'alternances par minute ω, et en adoptant

$$\frac{K}{K_0} = 0,9 \quad \text{et} \quad f_1 = 50 \text{ soit } \omega_1 = 6\,000 :$$

la formule devient

$$(8) \quad \mathcal{C}' = \frac{\mathcal{C}_f}{0,9 \frac{\omega}{\omega_0} \frac{6000 - \omega}{6000 - \omega_0} - 1}.$$

Premier exemple. — Moteur asynchrone triphasé à 8 pôles, puissance normale 25 chevaux, $\omega = 240$, $\omega_0 = 11$. Frottements à vide mesurés au wattmètre : 1 010 watts.

La formule (8) donne

$$\mathcal{C} = \frac{25 . 736}{0.9 \frac{240}{11} \frac{6000 - 240}{6000 - 11} - 1}.$$

Deuxième exemple. — Moteur asynchrone diphasé de 7 chevaux, 6 pôles, $\omega = 330$, $\omega_0 = 20$: 4000 watts. Frottements à vide mesurés au wattmètre.

$\omega = 330$ $\omega_0 = 20$ $\mathcal{C}_f$ au wattmètre = 4000.

Digitized by Google

La formule (8) donne 396.

Remarquons que la perte dans le cuivre à vide $\mathcal{C}_0$ est donnée par

$$(9) \qquad \frac{\mathcal{C}_f}{\mathcal{C}_0} = \frac{f_1 - f_0}{f_0} = \frac{6000 - \omega_0}{\omega_0},$$

d'où il résulte qu'elle n'a qu'une très faible importance dans les pertes à vide, et est absolument négligeable par rapport aux frottements.

Troisième exemple. — Moteur triphasé asynchrone de 125 chevaux, à armature enroulée en trois phases : R = 0,03 ohm (par phase)., ω_0 = 4,3. Frottements à vide au wattmètre : 3080 watts.

Courant à vide dans l'armature : 4,9 A.

$$\mathcal{C}_0 = \overline{4,9}^2 . 3 . 0,03 = 2,16 \text{ watts.}$$

On en conclut

$$\frac{\mathcal{C}_f}{\mathcal{C}_0} = \frac{3080}{2,16} = 1425$$

Or la formule (9) donne

$$\frac{6000 - 4,3}{4,3} = 1395,$$

concordance très satisfaisante.

Quatrième exemple. — Moteur asynchrone

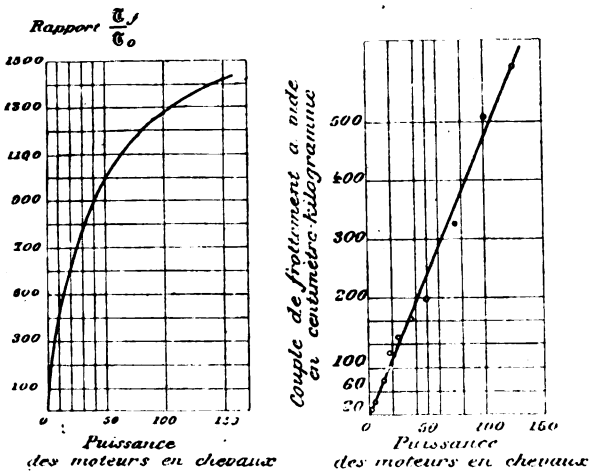


Fig. 1 et 2.

diphasé (armature à deux phases) : R = 0,04 ohm, ω_0 = 5,8. Frottements à vide, 1540 watts.

Courant à vide 4,25 A (armature),

$$\mathcal{C}_0 = \overline{4,25}^2 . 2 . 0,04 = 1,44 \text{ watt.}$$

d'où

$$\frac{\mathcal{C}_f}{\mathcal{C}_0} = 1068,$$

et, d'après la formule (9)

$$\frac{6000 - 5,8}{5,8} = 1035$$

La figure 1 représente le rapport $\frac{\mathcal{C}_f}{\mathcal{C}_0}$ pour différentes puissances usuelles de moteurs.

On peut déduire le couple de frottement à vide, soit de la formule

$$\Gamma_0 = \frac{\mathcal{C}_0 \, p}{2\pi . 9,81 . f_0}$$

soit de

$$\Gamma_0 = \frac{\mathcal{C}_f \, p}{2\pi . 9,81 (f_1 - f_0)}$$

On obtient ainsi pour l'exemple 3, respectivement 5,9 kgm et 6 kgm.

La figure 2 représente les couples de frottement des moteurs de différentes puissances, et la figure 3, les pertes de frottement spécifiques, c'est-à-dire rapportées à un cheval.

On voit que pour les types très petits (1/4 de cheval), le frottement absorbe 25 p. 100 de la puissance, pour un type moyen (25 chevaux), 5 p. 100, et pour 150 chevaux, environ 3,25 p. 100.

Ces valeurs varient évidemment suivant les constructeurs, mais les courbes rapportées ici

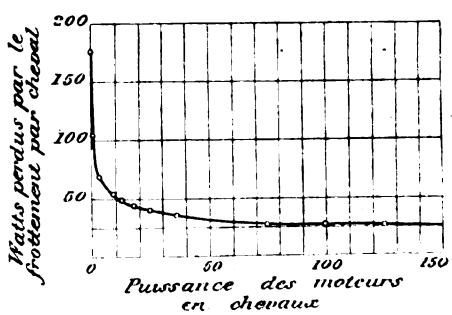


Fig. 3.

ont été tracées d'après les résultats moyens de nombreuses mesures.

A. M.

Digitized by Google

TÉLÉGRAPHIE

Grappins Rouillard pour le dragage des câbles sous-marins, par **F.-G. de Nerville**. *Annales télégraphiques*, t. XXV, p. 191-200.

Aux cours des opérations de dragage fort difficiles qui, en 1897 et 1898, ont été nécessitées par la pose du câble transatlantique Brest-Cap Cod, M. A. Rouillard, ingénieur de la Société industrielle des Téléphones, a été amené à imaginer et à faire construire divers types de grappins, les types usités jusqu'à ce jour n'ayant pu permettre le relèvement du câble.

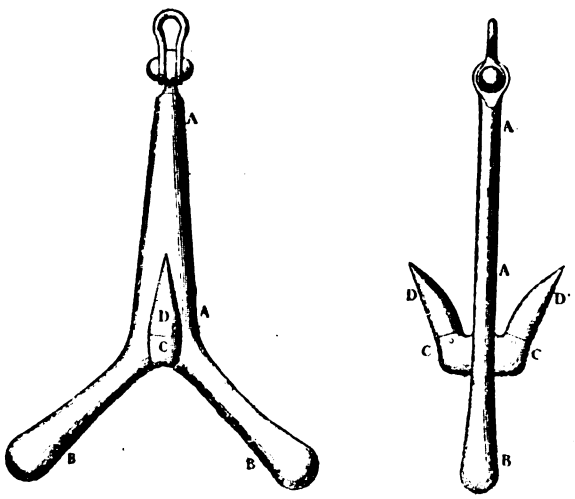


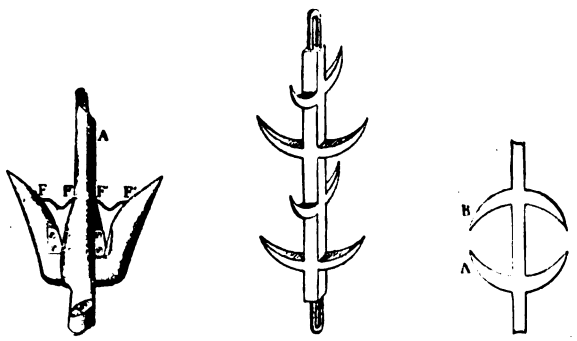
Fig. 1 et 2. — Grappin de relève Rouillard.

Les figures 1 et 2 représentent un grappin pour la relève des câbles. Il se compose d'une tige A en acier prolongée par deux palettes B et B′ situées dans un même plan contenant l'axe de la tige A. Dans un plan normal se trouvent deux saillies C et C′ portant les dents D et D′ du grappin. L'ensemble de la tige, des palettes et des saillies latérales constitue un seul bloc en acier coulé. Dans les saillies sont pratiquées des mortaises cylindriques. Les dents, également en acier coulé, se terminent à leur base par des tenons qui pénètrent dans les mortaises des saillies. L'assemblage est maintenu par des clavettes.

Chaque grappin est muni de trois jeux de dents de longueur différente. Les figures représentent le grappin armé de ses dents moyennes, qui ont 35 cm de longueur. Ce sont celles qui servent le plus généralement. Les dents courtes ont 12 cm de moins que les moyennes ; elles servent pour les terrains durs. Les dents longues dépassent les moyennes de 12 cm et sont destinées aux terrains vaseux dans lesquels le câble est fortement enlisé.

Lorsque ce grappin, rattaché à un filin de drague, arrive au fond de la mer et qu'il subit une traction, il ne peut prendre qu'une seule position d'équilibre stable ; les palettes jouent le même rôle que le jas d'une ancre, elles raguent sur le fond comme le bâti d'une herse et l'une des dents labourant la vase, s'y enfonce profondément et peut atteindre le câble enlisé. Aussitôt pris, le câble est ramené sous l'aisselle de la dent qui constitue un petit logement en forme de rainure de 5 cm de largeur et de 8 cm de profondeur. Lors même que le câble est saisi non loin d'un bout libre, le frottement qu'il éprouve dans la rainure est suffisant pour le retenir. S'il vient à glisser, le filin qui le recouvre se déchire, s'accumule en arrière du grappin et forme bientôt avec les enduits un bourrelet assez résistant pour arrêter le glissement du câble.

La figure 3 représente une modification qui



3 4 5

Fig. 3, 4 et 5. — Grappin coupant Rouillard. — Grappin centipède ordinaire. — Principe du grappin centipède à contre-dents Rouillard.

permet d'obtenir un grappin coupant. La forme des saillies C et C′ est un peu changée et chacune des aisselles porte deux lames d'acier taillées en biseau dont les arêtes tranchantes forment une sorte de V. Un peu au-dessus de l'aisselle est fixée une barre de fer témoin FF calculée pour se rompre sous un certain effort de tension bien défini. Cette barre ferme l'entrée du V formé par les lames coupantes. Lorsque le grappin saisit le câble, celui-ci vient s'appuyer sur la barre de fer F. La traction augmente,

Digitized by Google

bientôt la barre est rompue et le câble projeté dans l'angle des arêtes tranchantes, s'y coince et est coupé. L'utilité de la barre FF' est multiple : elle provoque, au moment de la rupture, un choc brusque qui facilite le cisaillement du câble, d'autre part elle sert de témoin et permet, quand on ramène le grappin, de constater que le câble a bien réellement été pris et coupé.

Ce type de grappin pèse comme le précédent, 250 kg.

Pour le dragage dans les fonds rocheux, M. Rouillard a été également amené à modifier le grappin centipède ordinaire. Ce dernier que représente la figure 4, est constitué par une série de paires de dents orientées dans le même sens et se trouvant alternativement dans deux plans rectangulaires. Ces dents s'engagent dans les anfractuosités des rochers et le câble ou la tige du grappin, se brise. Pour éviter cet inconvénient, M. Rouillard limite la prise de chaque

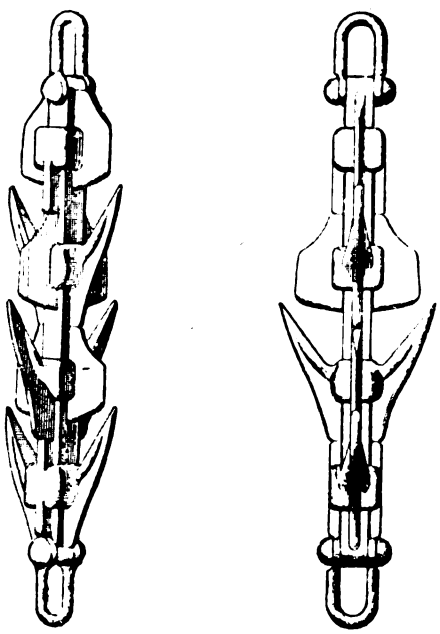


Fig. 6 et 7. — Grappin centipède à contre-dents de la société des téléphones

dent A (fig. 5) en plaçant devant elle une dent B identique, mais orientée en sens inverse. Cette contredent empêche la dent A de s'engager sous une roche, mais si la dent A rencontre le câble, celui-ci passe entre la dent et la contre-dent et se trouve pris. Dans une série de dragages entrepris en 1898 dans une région de l'Atlantique à fond rocheux, ce système a donné des résultats très remarquables; dès le premier dragage, le câble fut pris et un deuxième dragage fait sur le second bout, réussit également.

Depuis, la Société des Téléphones a fait construire un modèle plus perfectionné de centipède à contre-dents représenté par les figures 6 et 7. Les contre-dents sont des pièces plates d'acier de forme un peu arrondie, pour glisser facilement sur le fond. Elles laissent entre leurs extrémités et celle de la dent un espace tout juste suffisant pour le passage du câble. Les dents et les contre-dents sont réunies par paires et fixées à des sortes de colliers qui se montent sur la tige centrale carrée en fer. Chaque collier porte dans un plan une paire de dents et dans un plan perpendiculaire une paire de contre-dents. Les colliers extrêmes ne portent, suivant le cas, qu'une paire de dents ou une paire de contre-dents.

Ce type de grappin pèse 250 à 200 kg.

RAYONS CATHODIQUES

Sur les rayons cathodiques et les rayons-canal, par **Berg**. *Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 688-697, août 1899.

L'auteur a mesuré les quantités d'électricité transportées par les rayons cathodiques et les rayons-canal.

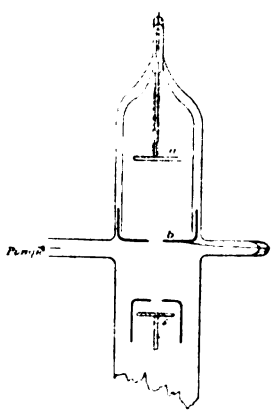


Fig. 1.

Le tube à décharges (fig. 1) est cylindrique ; la cathode *a*, en forme de disque, se trouve à l'extrémité du tube, dans un espace presque entièrement fermé par une capsule de métal *b* qui forme l'anode et est percée seulement d'un

Digitized by Google

trou de 3 mm de diamètre. Les rayons cathodiques passent à travers l'anode par ce trou et viennent frapper ensuite un disque *s*, pouvant se déplacer suivant l'axe et qui est entouré d'un cylindre protecteur.

Le tube reste constamment en communication avec la trompe à mercure, ce qui permet, en réglant la pression, d'opérer avec des différences de potentiel variant entre 3 000 et 10 000 volts.

Entre ces limites, la valeur de la différence de potentiel, n'influe pas sur la nature des phénomènes.

Le disque *s* est relié au sol par l'intermédiaire d'un galvanomètre : ce galvanomètre fournit une mesure des charges apportées au disque, sous la condition toutefois que l'anode *b* soit elle-même reliée au sol.

Le faisceau de rayons cathodiques qui traverse l'anode pour aboutir au disque *s*, forme une dérivation du courant total qui passe dans le tube ; le courant principal passe directement de l'anode à la cathode. L'intensité de ce courant dérivé est à peu près dans le même rapport avec l'intensité totale que le faisceau dérivé avec le faisceau total, autant qu'on peut en juger ; ceci donne à croire que tout le transport de l'électricité se fait par l'intermédiaire des rayons cathodiques.

Quand la cathode *b* n'est pas en communication métallique avec le disque *s*, celui-ci émet des rayons cathodiques : il est à un potentiel beaucoup plus élevé que celui du sol, mais néanmoins inférieur à celui des conducteurs qui l'entourent, comme l'indique cette émission de rayons cathodiques.

En prenant *a* pour anode et *b* pour cathode, on obtient les rayons-canal de Goldstein : les phénomènes sont tout à fait analogues aux précédents, sauf un point. On peut résumer les deux séries d'expériences en disant : si l'une des électrodes est reliée au sol, on trouve sur le disque *s*, une charge de même signe que celle de l'autre : charge qu'on peut mesurer par le courant continu qui traverse le galvanomètre.

Si aucune des électrodes n'est reliée au sol, le disque *s* est toujours chargé positivement. Cette charge positive, quand *b* est la cathode, peut paraître surprenante : peut-être s'explique-t-elle par la déperdition de l'électricité négative.

Dans les conditions expérimentales adoptées par Berg, les rayons-canal apparaissent seulement quand l'anode *a* et le disque *s* sont reliés ou l'un à l'autre ou l'un et l'autre au sol. Sinon, à la place des rayons-canal, on observe un faisceau de lumière blenâtre, avec une région obscure au voisinage de la cathode : en outre, un faisceau de rayons cathodiques dirigé vers l'anode, part de l'ouverture de la cathode : un autre faisceau, du disque *s*, se dirige vers l'espace situé entre *b* et *s*, enfin le faisceau ordinaire, partant de la cathode, vers *a* et vers *s*.

Ces phénomènes compliqués sont dûs sans doute à la dissymétrie qui règne autour de *b* et disparaissent effectivement quand on élimine cette dissymétrie en reliant l'anode *a* au disque *s*. Il ne reste alors que les rayons cathodiques émis par la cathode et les rayons-canal.

Il semble qu'il y ait encore une contradiction avec les descriptions de Goldstein, d'après lesquelles les rayons-canal se dirigent du côté où n'est pas l'anode. En effet, ils apparaissent ici des deux côtés de la cathode, bien qu'il y ait une anode de part et d'autre de la cathode. Mais, en y regardant de plus près, on vérifie facilement, en supprimant tour à tour l'une des anodes, que chacun des faisceaux se dirige bien du côté opposé à l'anode à laquelle il correspond.

Les rayons-canal sont donc bien des rayons anodiques, comparables jusqu'à un certain point aux rayons cathodiques, dont ils se distinguent par les caractères suivants :

1° Ils excitent moins vivement la fluorescence ;

2° Ils sont beaucoup moins déviés par l'aimant ;

3° Leur direction dépend de la position de la cathode, tandis que celle des rayons cathodiques est à peu près indépendante de la position de l'anode ;

4° Ils semblent se produire moins facilement que les rayons cathodiques, et partant, jouent un rôle moins important dans la décharge.

Ces propriétés s'expliqueraient bien en admettant que les particules positives qui forment les rayons anodiques ont une masse plus considérable et par suite une vitesse moindre que les particules négatives des rayons cathodiques.

M. L.

Digitized by Google

Sur les rayons-canal et les rayons cathodiques, par Paul **Ewers**. *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 167-199, sept. 1899.

D'après Ewers, ces particules seraient formées des ions empruntés à la substance de la cathode.

D'une manière générale, tant pour les rayons-canal que pour les rayons cathodiques, ces particules peuvent être caractérisées par le rapport $\frac{\varepsilon}{m}$ de la charge ε qu'elles transportent à leur masse matérielle m. Ce rapport peut se déduire soit de la déviation magnétique des rayons, soit de la quantité d'énergie qu'ils transportent (1).

Le nombre trouvé par Wien, pour les rayons-canal émis par une cathode en fer est très voisin de celui qu'on calcule en prenant pour ε la charge d'un ion bivalent et pour m le poids atomique du fer.

Ewers a voulu contrôler cette détermination en la répétant par la seconde méthode indiquée, c'est-à-dire en mesurant l'énergie transportée par les rayons-canal.

La quantité d'énergie transportée en une seconde par ces rayons est :

$$A = n\, m\, \frac{v^2}{2}$$

n étant le nombre des particules émises en une seconde, v leur vitesse. Si ces particules viennent à rencontrer un obstacle, qu'on puisse regarder comme parfaitement rigide, toute cette énergie se transformera en chaleur. Mais en pratique la transformation ne sera pas totale, car l'obstacle ne possède pas une rigidité absolue et une partie des particules rebondiront : la chaleur recueillie sera seulement une fraction α^2 de l'énergie cinétique des particules, fraction qu'il faudra déterminer.

Si d'autre part, q est la quantité d'électricité transportée en une seconde par les rayons considérés, n le nombre des particules qui se déchargent sur l'obstacle,

$$q = n\, \varepsilon$$

et on aura, pour l'expression de l'énergie calorifique recueillie :

$$\alpha^2 A = \frac{1}{2}\, q\, \frac{m}{\varepsilon}\, v^2$$

(1) Cf. Kaufmann et Aschkinass, *L'Éclairage Électrique*, XVI, p. 86.— W. Wien, *ibid.*, p. 557.

Dans les expériences d'Ewers, l'électricité est fournie par une machine de Tœpler à 40 plateaux, donnant par seconde $3{,}1.10^{-4}$ coulomb : on évite soigneusement toute étincelle dans le circuit et les bouteilles de Leyde de la machine sont enlevées. Le nombre des décharges se mesure en observant dans un miroir tournant un petit tube de Geissler placé dans le circuit en même temps que le tube en expérience, dont l'éclat est trop faible pour qu'il puisse servir à cette détermination : le nombre des décharges est d'environ 60 000 par seconde.

Le tube est vidé au moyen d'une machine pneumatique à mercure : la pression est évaluée d'après le nombre de manœuvres et le rapport des volumes de l'ampoule au volume des autres portions de la pompe et du tube qui communique avec elles.

Les tubes ont été employés sous trois formes différentes (fig. 1 à 4).

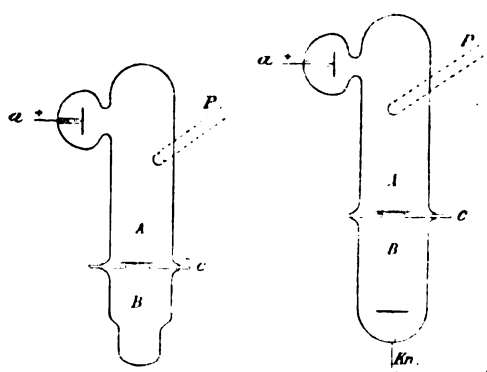


Fig. 1 et 2. — Tubes pour l'étude des rayons-canal.

a, anode, *c*, cathode sur laquelle sont mastiquées les deux portions du tube A B. P, tube communiquant avec la pompe à mercure. *Kn*, électrode réceptrice, pour la mesure du courant.

La portion B du tube de la figure 1 est rétrécie à l'extrémité pour faciliter l'emploi d'un calorimètre de petit volume et par suite de faible capacité calorifique. Les cathodes ont la forme de disques en aluminium de 2 mm d'épaisseur, percés en leur centre d'une ouverture de 18 mm de diamètre. Ces disques sont recouverts d'une toile métallique, faite du métal qu'on se propose d'étudier, cette toile déborde le disque de manière que les deux moitiés A et B du tube ne communiquent ensembles qu'à travers les mailles de la toile.

Digitized by Google

Les expériences ont porté sur des toiles à mailles carrées d'aluminium, de fer, de platine.

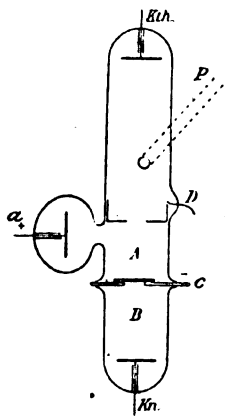


Fig. 3. — Tube pour l'étude simultanée des rayons cathodiques et des rayons-canal.

a, *c*, P, A, B, comme sur les figures 1 et 2; K*th*, K*n*, électrodes réceptrices; D, diaphragme en aluminium.

Les calorimètres sont des cylindres de laiton remplis d'essence de térébenthine : le courant issu de l'électrode réceptrice est mesuré au moyen d'un galvanomètre de Wiedemann, la différence de potentiel entre l'anode et la cathode, au moyen d'un voltmètre d'Ebert et Hoffmann, étalonné par comparaison avec un électromètre cylindrique absolu de Blondlot.

Les tubes à décharge renferment de l'hydrogène, de l'azote ou du gaz carbonique.

Ewers a déterminé, par extrapolation, la limite supérieure de la pression à laquelle les rayons-canal commencent à atteindre l'électrode réceptrice. Il trace les courbes dont les abscisses sont proportionnelles au nombre de manœuvres effectuées avec la pompe et dont les ordonnées sont proportionnelles à la quantité d'électricité transportée en une seconde.

En prolongeant la courbe ensuite jusqu'à son point d'intersection avec l'axe des abscisses, il déduit de l'abscisse de ce point la pression limite.

Les résultats sont réunis dans le tableau ci-dessous.

Cathode en dans	Al.	Fe.	Pt.
H^2	0,26	0.261	0,252
Az^2	0,14	0.14	0,142
CO^2	0,095	0,093.	0,095

Les pressions sont évaluées en millimètres de mercure.

De ce tableau, on conclut que :

1° Dans un même gaz, la pression à laquelle les rayons-canal commencent à atteindre l'électrode réceptrice est indépendante du métal de la cathode ;

2° Pour un même métal, cette pression dépend de la nature du gaz qui se trouve dans le tube.

Elle est telle que, pour chacun des gaz, le chemin moyen des molécules soit devenu le même.

Par les mesures calorimétriques, Ewers a trouvé pour la vitesses v des particules supposées identiques aux ions émis par une cathode d'aluminium.

$v_1 = \alpha.\ 1{,}73.10^7$ cm : sec.	sous la diff de pot.	3580 volts.
$v_2 = \alpha.\ 1{,}72.10^7$	—	3450 volts.
$v_3 = \alpha.\ 1{,}71.10^7$	—	3300 »
$v_4 = \alpha.\ 1.91.10^7$	—	3600 »
$v_5 = \alpha.\ 1{,}81.10^7$	—	4100 »

La vitesse croît donc avec la différence de potentiel.

Pour une cathode de fer :

$$v_1 = \alpha.\ 1{,}2\ 10^7.\ \text{sous } 5200 \text{ volts}$$
$$v_2 = \alpha.\ 1{,}21\ 10^7.\ \text{—}\ 5880\ \text{»}\ ;$$

ce nombre est du même ordre de grandeur que celui trouvé par W. Wien.

Pour une cathode de platine :

$$v_1 = \alpha.\ 6{,}2\ 10^6.\ \text{sous } 5070 \text{ volts}$$
$$v_2 = \alpha.\ 6{,}3.\ 10^6\ \text{—}\ 5350\ \text{»}$$

Dans les conditions où ces mesures ont été effectuées, la fraction α de l'énergie totale, qui est recueillie dans le calorimètre, est environ 1/9 : donc $\alpha^2 = 9$ et $\alpha = 3$. Les vitesses des ions d'aluminium, de fer, de platine seraient donc, pour une différence de potentiel de 5 000 volts environ :

Al	Fe	Pt
$5{,}9.10^7$ cm : sec	$3{,}6.10^7$	$1.9.10^7$

Le nombre d'atomes entraînés dans chaque décharge est de l'ordre de 10^{10}, mais la masse est très petite. En admettant qu'il se produise 60 000 décharges par seconde, la masse entraînée pendant ce temps serait de $8{,}75.10^{-9}$ gr d'aluminium, par exemple, et encore la plus

Digitized by Google

grande partie rebondit sur l'électrode et est renvoyée dans le gaz. Pour recueillir un milligramme de métal sur la cathode, il faudrait poursuivre l'expérience sans interruption pendant 288 heures.

Les rayons-canal, pour atteindre l'électrode réceptrice, avaient à parcourir 4 cm, soit à traverser 4 cm³ par centimètre carré de surface de la cathode.

Pour qu'on puisse constater leur arrivée à l'électrode, il faut que la quantité de mouvement des ions émis par un centimètre carré de la cathode, soit au moins égale à la quantité de mouvement des molécules gazeuses contenues dans cet espace de 4 cm³. La pression limite trouvée ci-dessus correspond à cette condition.

D'autre part, Ebert [1] a constaté que pour une pression déterminée, variant avec la nature du gaz, l'intensité du courant dans le tube passe par un maximum, tandis que la différence de potentiel entre les électrodes passe par un minimum : or il se trouve d'après les expériences d'Ewers, que cette pression est justement la pression-limite à laquelle se manifestent les rayons-canal.

Or Ebert a démontré que cette pression limite P est proportionnelle au rayon ρ de la sphère d'activité moléculaire et inversement proportionnelle à la somme des valeurs s des atomes qui composent la molécule du gaz.

$$P = K \frac{\rho}{s}$$

La valeur de la constante K calculée d'après les données relatives à H^2, Az^2, CO^2 est en moyenne 7.10^{10}.

En partant de cette valeur de K, on peut calculer la pression-limite pour un gaz dont on connaît le diamètre des molécules et la somme des valeurs atomiques : inversement, on peut calculer le diamètre quand on connaît les autres quantités.

Il ne semble pas que les rayons-canal soient formés de particules empruntées à l'anode : car les quantités d'électricité qu'ils transportent varient avec la nature de la cathode, l'anode restant la même.

Ewers a fait aussi quelques expériences comparatives sur les rayons cathodiques. Le maximum d'électricité négative transportée par ces rayons est du même ordre de grandeur, abstraction faite du signe, que le maximum transporté par les rayons-canal : mais il se produit à une pression notablement plus élevée. La quantité transportée est aussi indépendante de la nature du gaz renfermé dans le tube : la quantité d'énergie, au contraire, varie d'un cas à l'autre. M. L.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 186.

Loi de formation de la région cathodique obscure de Hittorf, par **H. Ebert**. *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 200-219, sept. 1899.

Hittorf a découvert (1868) que la lumière cathodique dans les tubes à décharge est partagée en deux par une région obscure, dont le développement varie avec la pression et la nature du gaz contenu dans le tube.

Ebert s'est proposé de rechercher la loi de ces variations et, après de nombreuses expériences préliminaires, s'est placé dans les conditions où on peut obtenir des résultats comparables dans les différentes circonstances.

Le récipient doit être de grandes dimensions afin de rendre négligeables les perturbations dues aux charges des parois, perturbations qui sont très notables dans les tubes étroits.

Il faut ensuite, ce qui est encore plus important, employer des courants alternatifs, afin d'éviter la transformation du milieu que provoquerait un courant de sens constant prolongé.

La figure 1 représente le récipient à décharges.

Ce dispositif assez compliqué a pour but d'obtenir d'une part des liaisons métalliques, sans danger d'étincelles ; d'autre part, de limiter les décharges à la surface des électrodes proprement dites : toutes les autres pièces métalliques sont enveloppées de verre, sauf quelques points restés nus en h, à cause de la brisure de g : mais, c'est seulement aux pressions très faibles que le gaz devient luminescent dans cette région et cette luminescence est sans influence sur les mesures. De plus, les deux électrodes sont symétriques l'une par rapport à l'autre et ont des surfaces égales.

La source d'électricité est un transformateur de courants continus, tétrapolaire, à grande vitesse, du type décrit précédemment par l'auteur [1], mais de plus grandes dimensions : la

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 187

Digitized by Google

force électromotrice obtenue était multipliée par un transformateur hérisson.

Les dimensions de la région obscure se mesurent au moyen d'un viseur monté sur le chariot d'une machine à diviser.

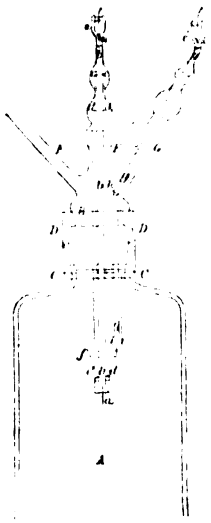


Fig. 1.

A, flacon en verre de Bohême, à parois épaisses. — B, bouchon rodé. — CC, tube de caoutchouc. — DD, tube de verre : les deux forment un godet dans lequel est versé du mercure assurant l'étanchéité. — E, tube reliant le flacon à la pompe à mercure. — F, G, tubes portant les électrodes. — *a*, électrode circulaire en aluminium (20 mm diam., 0,5 épaisseur). — *b*, tige de laiton supportant l'électrode. — *c*, tube de verre enveloppant le laiton. — *d*, tube de verre supportant le précédent et mastiqué lui-même dans la tubulure F. — *e*, godet de mercure vissé sur *b*, dans lequel plongent les fils venant de la machine. — *f*, deuxième électrode porté par le fil de laiton *g*, qui traverse la tubulure G ; cette électrode est en forme d'anneau. — *ii*, enveloppe de verre entourant *g*. — En *h*, se trouve une vis reliant les deux portions de *g*. — *e'*, godet de mercure comme *e*.

La pression du gaz est mesurée au moyen d'une jauge : l'emploi de cette jauge aux très faibles pressions peut donner lieu à des erreurs, mais dans les limites des expériences (la pression ne descendait pas au-dessous de 0,1 mm), il n'y a pas lieu de craindre ces erreurs.

Dans les six gaz, hydrogène, oxygène, azote, oxyde de carbone, gaz carbonique, air, l'épaisseur de la région obscure varie en progression géométrique, quand la pression diminue en progression géométrique : mais la raison des deux progressions n'est pas la même. D'une manière générale, si d désigne l'épaisseur de la région obscure, p la pression correspondante, on aura :

$$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^m$$

m étant une constante dépendant de la nature du gaz, mais indépendante du système d'unités dans lequel sont évalués d et p. Cette équation revient à :

$$\log d + m \log p = \text{const.} \qquad (1)$$

Si donc on porte en abscisses les log p, en ordonnées, les log d, on obtiendra des droites, dont le coefficient angulaire sera $-m$.

Toutes les courbes ainsi construites présentent un point anguleux, pour une pression qui varie avec la nature du gaz. Mais avant et après le point anguleux, la variation de d avec p suit la loi exprimée par la formule 1, seulement avec une valeur différente de m : la courbe se compose de deux portions de droite. M. L.

Phénomène des lueurs dans les décharges par courants alternatifs de haute fréquence, par **H. Ebert.** *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 372-397, oct. 1899.

Lorsque les décharges de sens alternatif se succèdent très rapidement, on constate dans tous les cas une réaction de la décharge qui vient de se faire sur celle qui la suit : cette réaction se produit encore alors que le phénomène lumineux est complètement éteint comme on peut s'en assurer par l'observation dans le miroir tournant. Cette réaction se traduit de différentes manières : en particulier, par les phénomènes d'inversion que subissent les éléments électriques quand on pousse de plus en plus le vide ; puis par les répulsions mécaniques qu'exercent l'une sur l'autre les électrodes chargées alternativement + et —, quand les lueurs qui les recouvrent et qui apparaissent *l'une après l'autre*, s'étendent jusqu'à la région d'action mutuelle.

Il semble que les ions chargés, surtout les ions positifs, peuvent se maintenir quelque temps avec leurs charges dans l'espace occupé par la lueur. Si les décharges se succèdent rapidement, les dernières ne rencontrent plus le gaz dans le même état que les premières. Cette circonstance doit se produire quand le vide est si avancé, que les ions soient en nombre insuffisant pour transporter, pendant l'intervalle des deux décharges successives, l'électricité apportée par la première. La réaction d'une décharge sur l'autre ne peut, dans ces conditions, s'exercer que dans les régions voisines de l'anode, c'est en effet ce qui a lieu. Elle a pour effet de modifier la dif-

Digitized by Google

férence de potentiel, l'intensité du courant et la consommation d'énergie.

Dans un même tube, renfermant successivement différents gaz, le phénomène d'inversion

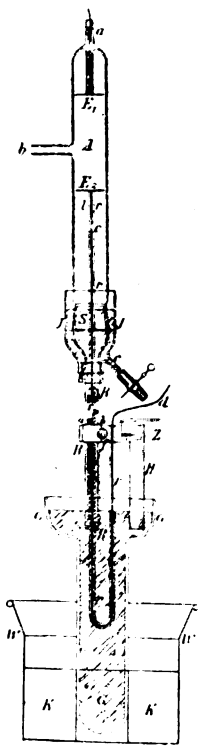


Fig. 1. — Tube à électrode mobile.

A, tube à décharges. — E_1, E_2, électrodes. — *b*, tube communiquant avec la pompe à mercure. — S, bouchon rodé, auquel est soudé le tube vertical R. — *r*, tube de verre recourbé en U, portant l'électrode E_2. — *l*, tige d'aluminium fixée à l'électrode. — *c*, fil de platine sur lequel est soudée d'une part *l*, d'autre part le fil de cuivre *d*, sur ce platine, on a fermé la lumière du tube *r*, à la lampe. — S, J, J, tube de verre fixé sur S par un caoutchouc et rempli de mercure formant joint. — G, éprouvette renfermant du mercure, maintenue par le bloc de bois K dans la cuvette W. — *f*, vis de serrage. — H, règle divisée sur laquelle se déplace l'index Z ; sur cette règle, on lit la distance E_1, E_2 des électrodes.

se produit au moment où la pression est devenue telle que le chemin moyen des molécules soit devenu le même pour les différents gaz.

Dans les tubes cylindriques de section uniforme, la lumière anodique qui est continue quand la pression est relativement élevée, se stratifie toujours quand la pression est descendue à la valeur qui correspond à l'inversion.

Comme le phénomène paraît avoir son siège dans la lueur qui recouvre l'anode, Ebert a construit un tube à anode mobile (fig. 1), permettant de vérifier cette hypothèse, en faisant varier dans un même tube, avec le même gaz sous la même pression, la position de cette lueur.

La pression restant la même, l'intensité du courant est d'autant plus grande que la distance des électrodes est plus petite ; la différence de potentiel et la dépense d'énergie sont au contraire d'autant plus petites que les électrodes sont plus rapprochées.

La pression d'inversion est plus basse quand les électrodes sont fort écartées que quand elles le sont peu.

La variation de la différence de potentiel et de l'intensité devient d'autant plus lente, quand on approche les électrodes, que les deux lueurs se rapprochent davantage : il se produit un phénomène de reflux. Lorsque les deux lueurs se sont rencontrées, ce qui répond au phénomème d'inversion, l'accroissement de la différence de potentiel provoquée par cette rencontre peut dépasser la diminution observée d'abord, en sorte que cette différence de potentiel entre les électrodes rapprochées peut être égale ou même supérieure à ce qu'elle était entre les électrodes éloignées. Il est à remarquer qu'il s'agit de la rencontre des lueurs, non des régions obscures de Hittorf ; cette dernière rencontre ne se produit que plus tard. Du reste, les inversions se produisent à des pressions assez élevées pour que les anodes se trouvent encore tout à fait en dehors des lueurs qui leur correspondent. Ce phénomène ne se confond donc pas avec celui qui a été récemment étudié par Wehnelt (1).

Au moyen d'un double tube, en forme de croix (fig. 2), disposé symétriquement, on peut démontrer que les décharges précédentes pro-

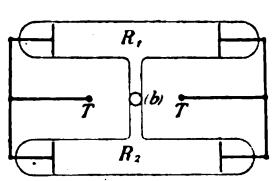


Fig. 2. — Système à un seul bras.

n, électrode. — *p*, tube de verre. — *o*, fil de cuivre. — *q*, fil de laiton. — *r*, tige de verre. — *t*, ampoule avec grenaille de plomb formant contre-poids. — *v*, électrode fixe. — *s*, fil adducteur. — *z*, buttoir de mica.

voquent une augmentation de la différence de potentiel, quand les lueurs des deux électrodes

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 117 et suiv.

Digitized by Google

traversent la même région du gaz, dans des directions *perpendiculaires*. Si les deux tubes sont bien symétriques, la décharge passe indifféremment par l'un ou par l'autre ; cependant aux pressions basses, la décharge passe presque toujours par le tube qui est devenu le premier luminescent, les premières décharges favorisant, comme on le sait, les suivantes. Quand la pression atteint la valeur qui correspond à l'inversion, la décharge se reproduit toujours dans le même tube ; mais dès que les pointes extérieures des deux lueurs se sont rencontrées dans le milieu du tube, la décharge passe simultanément dans les deux, elle reflue pour ainsi dire de l'un dans l'autre. L'expérience réussit avec tous les gaz ; dans la région où s'est produite la lueur positive, prend naissance une force contre-électromotrice.

Il résulte aussi de là que les charges libres s'accumulant dans certaines régions et y séjournant quelque temps après que la décharge a cessé, les attractions qui s'exercent ordinairement entre les électrodes donnant passage à des décharges alternatives peuvent se changer en répulsions.

Ebert a démontré l'existence de ces répulsions au moyen de l'appareil représenté par la figure 3.

Quand la pression dans le récipient est encore assez élevée, le courant alternatif à 2 800 volts ne peut pas traverser le gaz ; les électrodes se trouvent alternativement chargées à cette différence de potentiel et s'attirent fortement. Il en est ainsi même quand on diminue la pression jusqu'à ce que les lueurs et la lumière anodique apparaissent. Mais quand le vide est assez avancé pour que la limite antérieure de la lueur positive dépasse le milieu de l'intervalle qui sépare les deux électrodes, l'attraction diminue et quand les lueurs sont complètement développées, elle fait place à une répulsion.

Quand on force les électrodes à se rapprocher, en tordant le fil de suspension, les lueurs, *des deux côtés* se déforment et semblent se comprimer l'une l'autre. En les éloignant d'abord, puis les rapprochant progressivement, on constate bien que la répulsion se produit au moment où les deux lueurs se rencontrent.

Le phénomène est dû à une modification résiduelle de l'état du gaz, modification invisible, car entre deux décharges successives, le gaz devient tout à fait obscur.

La répulsion peut s'observer aussi avec les décharges d'une bobine d'induction, mais, si on intercale dans le circuit une soupape électrique,

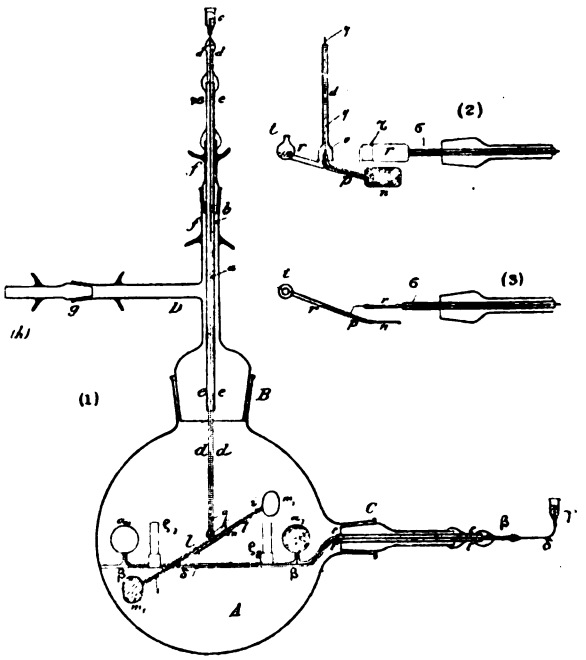


Fig. 3.

A, ballon de verre. — B, bouchon rodé. — *a*, fil de constantan supportant une balance de torsion. — *b*, fil d'amenée du courant communiquant avec le godet à mercure *c*. — *d*, tube de verre protégeant le fil *a*, supporté lui-même par le tube *e*. — *ff*, rodage permettant de faire tourner la suspension. — D, tube relié à la pompe à mercure, par deux rodages *g* (*h*), dont les axes sont perpendiculaires : ces rodages permettent de régler la position du ballon. — *i*, tige d'aluminium enveloppée par le tube de verre *l*, ouvert en *k*. — m_1, m_2, électrodes circulaires. — C, bouchon rodé. — β, tube de verre enveloppant le fil adducteur δ. — α_1, α_2, électrodes reliées à δ. — ι, tube de verre mastiqué dans le bouchon C et supportant β. — ζ_1, ζ_2, buttoirs en mica.

la répulsion disparaît complètement et on n'observe plus que l'attraction. Les décharges de la machine de Tœpler ne donnent lieu non plus qu'à une attraction. M. L.

MESURES

Ampère-heure-mètre Liebenow. Brevet allemand. *Elektrotechnische Rundschau*, 1er octobre 1899.

Le compteur de M. Liebenow est destiné à compter les quantités d'électricité qui traversent un circuit indépendamment de la tension ; l'aiguille indicatrice tourne dans un sens ou dans l'autre suivant le sens du courant qui traverse l'appareil, il est donc particulièrement indiqué pour déterminer l'état de charge d'une batterie,

Digitized by Google

celle par exemple d'une voiture de tramway où l'on emploie le système mixte à accumulateurs et conducteur extérieur interrompu.

L'appareil est analogue à un compteur-moteur avec cette différence que la tension aux bornes de l'induit est maintenue constante par une batterie auxiliaire. La figure 1 représente l'appli-

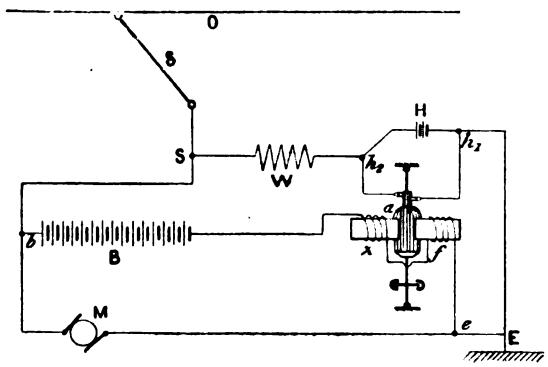


Fig. 1.

cation du compteur à la traction mixte ; O est le conducteur extérieur, dont le courant est amené au moteur M par la prise S, le retour s'effectue en E par la terre ou par les rails. La batterie B qui doit alimenter le moteur de traction est en parallèle avec lui entre b et e, ce circuit traverse l'enroulement inducteur f du compteur Z. Le courant nécessaire à l'excitation de l'induit a du compteur est pris aux bornes h_1 et h_2 des accumulateurs H qui constituent la batterie auxiliaire. Cette batterie est dans le circuit dérivé entre les conducteurs principaux correspondant au circuit de tension des compteurs habituels. Une résistance W est introduite de façon que la batterie H soit constamment parcourue par un faible courant ; la tension de celle-ci est donc maintenue constamment égale à la tension de charge ; le courant qui la traverse est pris au conducteur extérieur et quand celui-ci est interrompu à la batterie B.

L'induit entraîne à la manière ordinaire le compteur de tours, et, comme il est parcouru par un courant toujours de même sens, tandis que les inducteurs sont parcourus dans un sens ou dans l'autre suivant que la batterie B se charge ou se décharge, l'aiguille indique la quantité d'électricité qui a passé avec le sens du courant indépendamment de la tension ; sa position correspond donc à l'état de charge de la batterie.

G. G.

Dispositif Siemens et Halske pour obtenir un décalage de phase de 90° dans les appareils de mesure à champ tournant. Brevet français, n° 286136, 31 mai 1899.

Parmi les appareils destinés à évaluer l'énergie dépensée dans un circuit à courants alternatifs, ceux qui sont basés sur le principe de Ferraris exigent un déplacement de phase de 90° entre les champs magnétiques produits par le courant principal et par le courant dérivé. Si cette condition n'est pas suffisamment remplie, l'énergie est mesurée avec une erreur relative d'autant plus grande que le déplacement de phase diffère de plus de 90°.

Différents procédés ont été proposés pour produire un champ décalé de 90° par rapport à la tension, soit que l'on veuille l'obtenir directement, soit que l'on ait recours à un courant décalé de 90° par rapport à la tension ; mais en général le réglage des appareils qui en dérivent est très difficile ; en effet les indications de l'appareil de mesure doivent être dans un rapport déterminé avec l'énergie à mesurer, et en outre il doit exister entre la tension et le champ de tension un décalage de phase de 90°. Or, si l'on peut satisfaire aisément à la première condition en modifiant la valeur du champ de courant ou de la tension, lorsqu'il s'agit de remplir la seconde, les rapports donnés par la première sont altérés de telle sorte qu'on n'obtient de résultat suffisant qu'après de nombreux tâtonnements.

La Siemens et Halske Actien-Gesellschaft emploie la méthode suivante qui permet d'obtenir rapidement le réglage cherché, c'est-à-dire

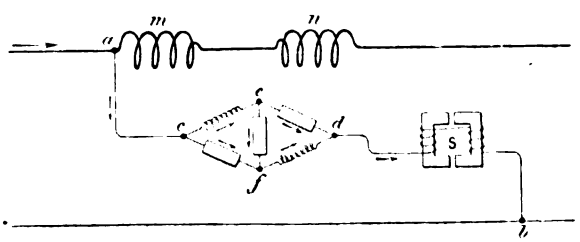


Fig. 1.

de régler avec assez d'exactitude la valeur du champ de tension et de produire presque indépendamment le décalage de phase de 90°.

m et n (fig. 1) sont les bobines de l'appareil de mesure qui servent à produire le champ de courant principal ; tandis que les bobines *ce*

Digitized by Google

et *fd* produisent le champ de tension, ces dernières sont connectées avec les résistances *ed*, *cf* et *cf* sans induction, de manière à former une sorte de pont de Wheatstone, en série avec une bobine d'induction S.

Le réglage de la valeur du champ de tension s'obtient en modifiant les résistances *cf* et *ed* qu'il est préférable de laisser de même grandeur ; ces résistances conduisent la partie du courant dérivé qui ne sert pas à produire le champ plus elles sont fortes, et plus le champ de tension est intense, ce qui permet de faire varier la sensibilité du système.

La résistance diagonale *ef* sert à produire exactement le décalage de phase cherché ; en l'augmentant, le décalage descend au-dessous de 90° et si on la diminue le décalage dépasse 90°. Ce décalage peut varier ainsi de 80° à 100° par une simple variation de 5 p. 100 environ dans le courant des bobines de champ *ce*, *df*, la tension aux bornes étant supposée constante.

Comme, pour le réglage, il ne s'agit jamais que d'une variation d'un petit nombre de degrés, la variation du courant qui traverse les bobines de tension est négligeable. G.

Dispositif Hartmann Braun pour la compensation du décalage de phase dans les instruments à courant alternatif. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVII, p. 12, 15 octobre 1899.

Les électrodynamomètres, wattmètres ou compteurs à courant alternatif doivent mesurer la valeur moyenne du produit de deux intensités (celles des courants qui traversent la bobine fixe et la bobine mobile) par le cosinus de la différence de phase des deux courants.

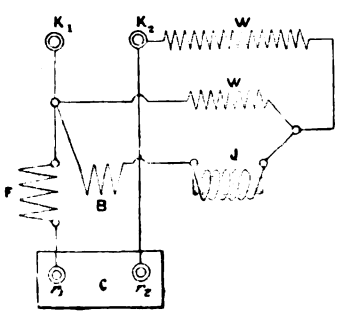


Fig. 2.

Dans le cas de bobines à noyau de fer lamellaire, la disposition Hartmann et Braun (1) consiste à mettre en série avec la bobine mobile B (fig. 1) une bobine inductive J à noyau de fer doux et dont le coefficient d'induction est considérable vis-à-vis de la résistance ohmique des bobines B et J ; en parallèle avec ces deux bobines est une résistance W sans induction. Le courant dérivé traverse en partie la branche W et en partie la branche BJ, puis au total la résistance sans induction W, telle que l'intensité du courant qui la traverse soit proportionnelle à la tension aux bornes et de même phase.

De cette façon, l'intensité du courant dérivé présente par rapport au courant non dérivé une différence de phase qui, par un choix convenable des résistances et des coefficients de self-induction, peut être exactement égale à la différence de phase, due à l'hystérésis, qui existe entre l'intensité du courant de la bobine fixe et le champ magnétique induit. La différence de phase due à la ramification peut donc amener la phase de l'intensité de la bobine mobile à s'écarter de celle du champ magnétique induit par la bobine fixe, exactement autant que l'intensité de la bobine fixe s'écarte de celle de la bobine mobile avant la ramification.

On a ainsi, avec ce système, le moyen de mesurer le produit des deux intensités par le cosinus de la différence de phase qui règne entre ces deux intensités, puisque l'instrument donne le produit par le cosinus de la différence de phase entre l'intensité du champ magnétique et celle de la bobine mobile. G. G.

Sur le moyen d'obtenir de grands décalages de phase et leur application à divers appareils de mesure, par **J. Gorner**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 26 octobre 1899.

On sait qu'avec les courants alternatifs, des décalages de phase de 90°, ne s'obtiennent plus avec une simple bobine de self-induction ou un condensateur, mais que des moyens plus compliqués sont nécessaires. L'auteur indique quelques dispositions, employées par la maison Hartmann et Braun, de Francfort, pour certains appareils qui nécessitent de semblables décalages de courants ou de champs.

En général on distingue deux sortes de décalages du champ par rapport à la tension :

1° Le champ et le courant inducteur sont en phase.

Digitized by Google

2° Le champ est plus ou moins décalé par rapport au courant inducteur.

Le premier de ces décalages est employé pour beaucoup d'appareils, et en particulier pour les instruments dynamométriques, où aucune pièce de fer ne doit se trouver dans le champ actif.

La figure 1 donne un schéma de montage qui

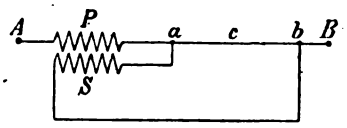


Fig. 1.

suffit dans ce but. A et B sont les bornes où la tension alternative est appliquée, P représente le primaire et S le secondaire d'un transformateur. Le conducteur *acb* est la partie du circuit où le courant doit passer avec la haute phase demandée.

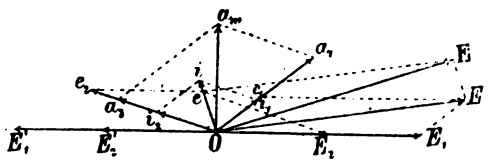


Fig. 2.

Le diagramme (fig. 2) indique les conditions électriques réalisées dans ce montage. Si la bobine P est traversée par le courant i_1, la bobine S par le courant i_2, les ampère-tours primaires et secondaires sont représentés en grandeur et direction par Oa_1 et Oa_2; leur résultante Oa_m donne les ampère-tours agissant sur le fer du transformateur. La direction de la force électromotrice de self-induction OE_1 produite dans P, ainsi que celle de la force électromotrice secondaire OE'_2 de S doivent être en retard et perpendiculaires à la direction de la résultante OA_m. Pour surmonter ces forces électromotrices il faut employer une tension de composantes respectivement égales et opposées OE_1 OE_2 qui, s'ajoutant aux pertes ohmiques dans les deux enroulements du transformateur, donne la tension composée OE'.

Si l'on fait la somme géométrique de OE_1 et de la chute ohmique Oe_1, on obtient en OE la tension aux bornes de P, celle de OE_2 et Oe_2 donne la tension Oe aux points *a*, *b*. La somme géométrique de OE et de Oe donne en OE' la tension aux bornes A et B. On voit facilement sur le diagramme, que le courant *i* dans le circuit *acb* est décalé de 90° ou plus, car la tension qui le produit est décalée de 90° ou plus. Le réglage du décalage s'obtient très facilement par variation de la résistance ohmique du circuit secondaire du transformateur.

Comme on n'a pas tenu compte, dans le diagramme, des pertes par courants de Foucault et hystérésis, le décalage de phase dépend un peu de la tension. Cet inconvénient est supprimé par l'emploi du montage (fig. 3) où le transformateur du montage précédent a été divisé en deux parties, de telle sorte que i_2 est indépendant de i_1. Ces montages sont employés en particulier pour des mesureurs de phase à lecture directe.

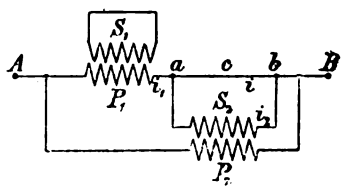


Fig. 3.

Pour certains appareils, compteurs pour courants alternatifs, par exemple, où un champ tournant agit comme force motrice sur un induit mobile, on peut employer beaucoup de fer dans le champ dérivé et fortement décalé.

Ce montage comprend (fig. 4) un petit trans-

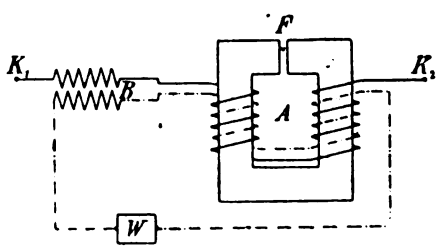


Fig. 4.

formateur B, et un autre A, qui présente entre les pôles de l'entrefer F le champ fortement décalé demandé. Les primaires et secondaires des deux transformateurs sont connectés respectivement en série et le secondaire possède une petite résistance de réglage W.

Le diagramme (fig. 5) montre bien le décalage du champ. Oa_1 et Oa_2 sont les ampère-tours primaires et secondaires du transformateur A, qui se composent en un nombre d'ampère-tours résultant, Oa_m, dans la direction duquel tombe également la direction du champ F du transfor-

Digitized by Google

mateur A. Ob_1, Ob_2 et Ob_m sont les ampère-tours du transformateur B. Les forces électromotrices

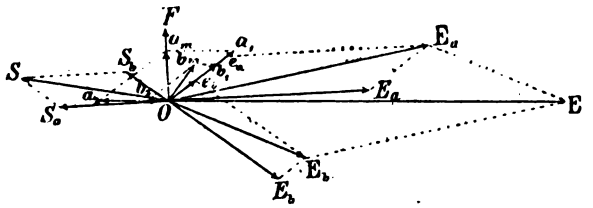


Fig. 5.

secondaires induites OS_a et OS_b, sont en retard et perpendiculaires respectivement à Oa_m et Ob_m, leur résultante OS donne la tension secondaire composée utile. La tension composée aux bornes K_1, K_2, est égale à la somme des tensions primaires des deux transformateurs et représentée par OE sur le diagramme.

On reconnaît que le champ OF est décalé de 90° par rapport à la tension OE ; par changement de la résistance W il est facile de régler exactement ce décalage.

Un autre montage est représenté figures 6 et 7. Un électro-aimant est formé d'un assemblage de matériaux différents, la partie qui porte les bobines est en fer laminé, tandis que les pièces polaires M_1 et M_2 sont en fer massif. Si l'on lance un courant alternatif dans cet électro-aimant, on obtient dans l'entrefer F un champ qui, suivant la fréquence, peut être décalé de plus de 90°. Ce décalage est réglable par un choix convenable de l'enroulement, et éventuellement en intercalant une résistance non inductive dans le circuit.

Sur le diagramme (fig. 7) le décalage du champ OF par rapport à la tension de distribution est très visible. Le courant i produit dans les bobines S_1 et S_2 un nombre de lignes de force représenté par la droite Oa.

Une partie seulement de ces lignes de force primaires, représentée par la droite Ob, traverse les pièces polaires et l'entrefer, par suite de la dispersion aux points x.

Comme le champ est alternatif il se développe dans les pièces polaires M_1, M_2, des courants de Foucault, qui produiront des lignes de force secondaires représentées par Ob_1 en grandeur et direction. Celles-ci traverseront toutes l'entrefer F, mais seulement en partie le fer laminé par suite de la dispersion aux joints.

Si Oa_1 indique ce nombre réduit de lignes de force secondaires, on obtient en Of le champ dans le fer laminé et en OF le champ dans l'en-

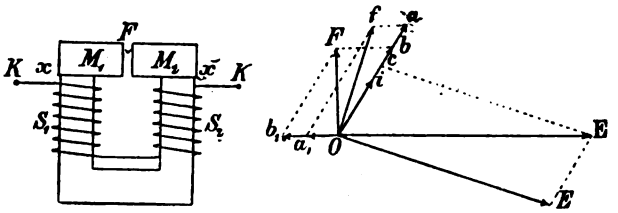


Fig. 6 et 7.

trefer. La force électromotrice de self-induction obtenue dans les bobines S_1 et S_2 est perpendiculaire à Of, et donne avec les pertes ohmiques dans ces bobines la tension composée OE. On peut comme précédemment régler le décalage à volonté au moyen d'une résistance.

La méthode indiquée (fig. 4 et 5), est appliquée par la maison Hartmann et Braun, à son compteur pour courants alternatifs et a donné de bons résultats.

On sait que la vitesse d'un corps métallique, mobile dans le champ tournant d'un tel compteur est proportionnelle au sinus de l'angle que font les deux champs alternatifs qui produisent

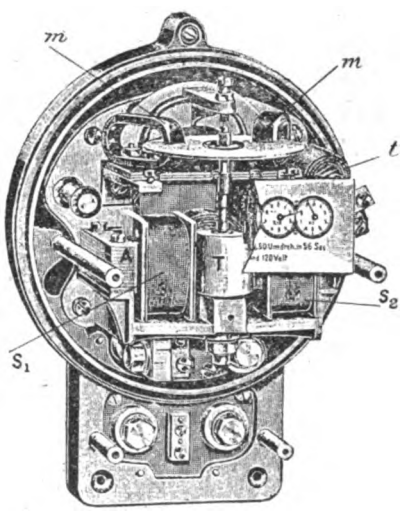


Fig. 8.

ce champ tournant. Si un de ces champs est obtenu par le courant d'utilisation I et en phase avec lui ; l'autre, comme champ dérivé, fortement décalé par rapport à la tension et produit par un courant i ; si de plus, les lignes de force de ces deux champs sont perpendiculaires à l'axe

Digitized by Google

du corps mobile, la vitesse de rotation est donnée par

$$v = \frac{C.\ F\ f.\ n.\ \sin\varphi}{(Kf)^2 + (K_1 F)^2}$$

où n est la fréquence du courant alternatif, φ l'angle de phase entre les deux champs F et f C, K, K_1 des constantes.

Les deux termes au carré du dénominateur sont les amortissements propres du compteur dus aux champs F et f. Comme F est proportionnel au courant I et f à la tension E, si l'on ajoute encore un amortissement proportionnel à la vitesse, par exemple avec des aimants permanents et un disque amortisseur on aura :

$$v = \frac{C'.\ I.E.\ n\ \sin\varphi}{(K'f)^2 + (K'_1 I)^2 + D}$$

Si l'on s'arrange pour que l'amortissement propre, pour une tension oscillante et un travail uniforme, soit constant et petit vis-à-vis de D, en supposant n constant, la vitesse peut s'écrire :

$$v = K.\ I.\ E.\ \sin\varphi.$$

Si le champ dérivé f est décalé de 90° par rapport à la tension E, φ sera égal à 90° si I est en phase avec E, si I est décalé de $\pm\psi$, alors $\varphi = 90° + \psi$.

La vitesse est donnée par :

$$v = K.\ I.\ E\ \sin(90° \mp \psi)$$

ou

$$v = K.\ I.\ E.\ \cos\psi.$$

Or, dans un circuit alternatif le travail consommé est

$$W = I.\ E\ \cos\psi$$

il y a donc proportionnalité entre ce travail et la vitesse du compteur.

Le compteur établi par la maison Hartmann et Braun sur ce principe est représenté figure 8, T est l'induit en aluminium et A l'électro-aimant en dérivation. La bobine où passe le courant principal est placée derrière l'induit d'aluminium. A droite se trouve le petit transformateurs t qui permet d'obtenir le décalage de 90° et à gauche la resistance de réglage. P. D.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 5 janvier 1900.

Essais de télégraphie sans fil, par **Tissot.**

M. L. Poincaré expose les principaux résultats d'un rapport adressé par M. Tissot au Ministre de la Guerre sur ses essais de télégraphie sans fil.

Les expériences de M. Tissot se sont effectuées régulièrement entre des points distants de 44 km. L'excitateur simple a donné des résultats meilleurs que l'excitateur de Righi. Il a paru nécessaire de faire communiquer avec la terre l'antenne réceptrice et l'antenne transmettrice. Dans ces conditions la bobine fonctionne d'une façon dissymétrique ; les transformateurs dissymétriques Witz et Rochefort conviennent très bien pour ce cas. Comme antenne excitatrice on emploie un simple fil ; si l'on ajoute des capacités, il est préférable de les fixer en bas. Avec 12 m d'antenne on transmet les signaux à 1 km ; avec 45 m, à 40 km. Le récepteur comprend un tube à limaille du modèle Ducretet ou Branly ; M. Tissot est très satisfait de la limaille de nickel pur très légèrement oxydée et surtout soigneusement dégraissée. Il faut employer des tubes dont la sensibilité, mesurée par la méthode de M. Branly, a une valeur moyenne. On peut améliorer beaucoup le fonctionnement du récepteur par l'adjonction de résistances et de capacités, de façon à s'approcher beaucoup de la syntonie parfaite. Au moyen d'une capacité mise en dérivation par l'intermédiaire d'une distance explosive, on élimine les effets de l'électricité atmosphérique ; il est possible, en prenant des précautions pour protéger l'opérateur, d'effectuer des transmissions pendant un orage. Enfin, contrairement à l'opinion de Marconi, M. Tissot trouve que les brumes et les vapeurs conductrices entravent la transmission. C. R.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 20 Janvier 1900. 7e Année. — N° 3

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

SUR L'ÉNERGIE DES COURANTS

I. — On représente généralement par $\frac{1}{2}\Sigma I\Phi = W$ l'énergie d'un système de courants ; cette expression est égale à l'intégrale

$$\frac{1}{8\pi}\int \mathfrak{B}\mathcal{H}_h\, dv$$

dans laquelle $\mathcal{H}_h$ est la composante de la force magnétique, suivant la direction de l'induction ; ces deux expressions sont identiques, quels que soient les milieux compris dans le champ.

M. Pérot propose de substituer à la première de ces valeurs, $\Sigma\int I d\Phi = W_1$, et à la seconde, par unité de volume

$$\frac{1}{8\pi}\int \mathcal{H}\, d\mathfrak{B}.$$

M. Pérot n'envisage que le cas où $\mathfrak{B}$ et $\mathcal{H}$ coïncident en direction, mais où leur rapport μ est variable avec $\mathcal{H}$.

Cette expression ne peut-être générale ; en effet, les corps que l'on connait, avec μ variable, ont tous de l'hystérésis (1), de sorte que $\int \mathcal{H} d\mathfrak{B}$ varie suivant la manière dont le corps a été amené à l'état ($\mathfrak{B}$. $\mathcal{H}$.), et quand même on viendrait à trouver un tel corps, si μ était fonction de la température, cela suffirait pour que l'intégrale prît des valeurs différentes suivant les températures par lesquelles on l'aurait fait passer, en l'amenant d'un état ($\mathfrak{B}\,\mathcal{H}$), à un état ($\mathfrak{B}_1$, $\mathcal{H}_1$).

(1) Voir à cet égard les travaux de M. Duhem.

Digitized by Google

Il est aisé de voir que c'est par une hypothèse, que ce résultat démontre être erronée, que M. Pérot arrive à cette valeur W_1. Appliquant son raisonnement à un circuit unique, invariable de position, il écrit

$$\delta W_1 = I\, d\Phi$$

comme résultant des lois de l'induction ; mais ce raisonnement suppose qu'il n'y a nulle autre chaleur dégagée, que la chaleur dégagée dans le courant du circuit I ; si en outre, une substance du champ, dont l'état magnétique change, est le siège d'un dégagement de chaleur δQ, on doit avoir, en appelant δW la variation vraie d'énergie

$$\delta W + \delta Q = I\, d\Phi + T,$$

si l'on appelle T, le travail des forces extérieures, travail égal et de signe contraire à celui des forces dites électro-magnétiques ou électro-dynamiques. Le second membre, calculé en partant des lois de l'induction et de l'électro-magnétisme est

$$\frac{1}{4\pi}\int \overline{\mathcal{H}\,\delta\mathfrak{B}}\, dv$$

que le champ renferme ou non des substances magnétiques, susceptibles ou non d'hystérésis ; quelles que soient les relations entre $\mathfrak{B}$ et $\mathcal{H}$; mais cette expression, pour les raisons développées plus haut, ne peut être l'expression de l'énergie ; il est à présumer (1) au contraire que celle-ci est

$$\frac{1}{8\pi}\int \overline{\mathfrak{B}\mathcal{H}}\, dv$$

et que la quantité de chaleur d Q est

$$\frac{1}{8\pi}\int (\overline{\mathcal{H}\, d\mathfrak{B}} - \overline{\mathfrak{B}\, d\mathcal{H}})\, dv$$

qui ne s'annule que si $\mathfrak{B}$ et $\mathcal{H}$ ont la même direction et leur rapport est indépendant de $\mathcal{H}$.

Dans ces formules les produit $\overline{\mathcal{H}.\ \mathfrak{B}}$, etc., désignent des produits géométriques ou produits des vecteurs par le cosinus de leur angle.

Par exemple, si l'on considère une sphère de fer placée dans un champ magnétique uniforme tournant, on sait que $\mathfrak{B}$ et $\mathcal{H}$ restent constants en grandeur, mais que $\mathfrak{B}$ est en retard sur $\mathcal{H}$ d'un angle constant ε ; $\delta\mathcal{H}$ et $\delta\mathfrak{B}$ sont respectivement perpendiculaires à $\mathcal{H}$ et $\mathfrak{B}$, et égaux à $\mathcal{H}\omega dt$, $\mathfrak{B}\omega dt$, si ω est la vitesse angulaire ; l'angle de $\mathfrak{B}$ et de $\delta\mathcal{H}$ est $\frac{\pi}{2} - \varepsilon$, celui de $\mathcal{H}$ et $\delta\mathfrak{B}$ est $\frac{\pi}{2} + \varepsilon$; par suite $\overline{\mathcal{H}d\mathfrak{B}} - \overline{\mathfrak{B}d\mathcal{H}}$ est $2\mathfrak{B}\mathcal{H}\sin\varepsilon\omega dt$, et la quantité de chaleur dégagée par unité de temps $\frac{V}{4\pi}\cdot\mathfrak{B}_1\mathcal{H}\sin\varepsilon.\omega$.

II. — Le théorème sur lequel reposent les formules ci-dessus, est le suivant : soit dans un champ magnétique, constitué d'une manière quelconque, courants, aimants ou fer, homogène ou non, un contour fermé C_1, et h la force magnétique produite par un courant égal à l'unité parcourant ce contour dans l'espace ambiant supposé vide ; l'intégrale $\frac{1}{4\pi}\int \overline{h\mathfrak{B}}dv$, étendue à tout l'espace, est la valeur du flux qui traverse le contour C, si $\mathfrak{B}$ est l'induction dans le champ. En effet la valeur de cette intégrale est nulle pour tout tube qui ne traverse pas le contour, et égale à la valeur du flux de ce tube lorsqu'il le traverse.

Par suite si le contour est parcouru par un courant, la valeur de $I\delta\Phi$ relative à ce cou-

(1) Si les relations entre $\mathfrak{B}$ et $\mathcal{H}$ dépendent de la température, il serait vraisemblablement plus exact de dire que cette intégrale représente non l'énergie, mais le travail disponible.

Digitized by Google

rant, lors d'une modification du champ, sera $\frac{1}{4\pi} I \int \overline{\delta(h\mathfrak{B})}\, dv$, tandis que le travail des forces électro-magnétiques est $\frac{1}{4\pi} I \int \overline{\mathfrak{B}.\delta h}.\, dv$, puisque c'est le produit de I par la variation de flux due au déplacement seul; on a donc pour l'ensemble du champ

$$\delta W + \delta Q = \frac{1}{4\pi} \Sigma I \int (\delta.\overline{h\mathfrak{B}} - \overline{\mathfrak{B}\delta h})\, dv = \frac{1}{4\pi} \Sigma \int I \overline{h\delta\mathfrak{B}}.\, dv.$$

le signe Σ s'étendant à tous les circuits ; mais la force magnétique $\mathfrak{H}$ en un point du champ est $\Sigma I\overline{h} + \overline{\mathfrak{H}'}$ en appelant H' la force magnétique due à l'aimantion des substances du champ : d'ailleurs $\int \overline{\mathfrak{B}\mathfrak{H}'}\, dv$ est nul, puisque $\int \mathfrak{H}'_s ds$ est nul le long d'un circuit fermé et par suite pour chaque tube de force ; on peut donc écrire

$$\int (\overline{\Sigma I h.\delta\mathfrak{B}} + \overline{\mathfrak{H}'\delta\mathfrak{B}})\, dv = \int \overline{\mathfrak{H} d\mathfrak{B}}.$$

et enfin

$$\delta W + \delta Q = \frac{1}{4\pi} \int \overline{\mathfrak{H}\delta\mathfrak{B}}$$

comme il a été annoncé plus haut.

A. Potier.

CALCUL GRAPHIQUE

D'UNE LIGNE SOUTERRAINE TRIPHASÉE CONCENTRIQUE

Dans les lignes et canalisations électriques la capacité est comme on sait, répartie uniformément sur toute la longueur. Mais lorsque les lignes ne sont pas très longues, que la tension et la fréquence des courants alternatifs ne sont pas trop élevées (ce qui est généralement le cas des lignes souterraines industrielles), les courants de charge et décharge dus à la capacité restent petits comparés au courant principal et l'on peut remplacer la capacité uniformément répartie du câble par une capacité égale localisée en certains points. On remplacera par exemple la capacité uniformément répartie par un ou plusieurs condensateurs branchés au milieu et aux extrémités du câble, comme l'a fait M. Steinmetz (fig. 1). A mesure que l'on augmente le nombre des condensateurs schématiques introduits, on obtient évidemment une approximation plus grande, mais on complique du même coup considérablement les calculs ; aussi lorsque le nombre des condensateurs dépasse trois, il devient plus aisé de traiter les problèmes par la méthode analytique en résolvant l'équation aux différentielles partielles bien connue ; ce qui revient à supposer que le nombre des condensateurs branchés est infini ou que la capacité est uniformément répartie. Nous voulons envisager ici le cas le plus simple, celui où la capacité du câble peut être remplacée par un condensateur unique branché en son milieu, et appliquer la méthode graphique au cas d'un câble triphasé concentrique (fig. 2).

En maintes occasions il nous est arrivé d'avoir à répondre à des questions relatives à l'influence des phénomènes de capacité dans les lignes polyphasées, c'est cette considération qui nous a engagé à indiquer ici comment on peut par la méthode graphique se rendre

Digitized by Google

compte rapidement de l'importance de ces phénomènes. Nous avons choisi le cas le plus défavorable, celui des câbles concentriques à grande capacité, bien que ce genre de câbles tende toujours plus à être remplacé par les câbles où les trois conducteurs symétriquement placés forment un toron.

Soit (fig. 2) la section d'un câble triphasé concentrique ;
V_1, V_2, V_3, les potentiels des trois conducteurs ; V_4 celui de l'armature en contact avec le sol et supposé par conséquent égal à zéro ;

ρ_1, ρ'_2, ρ''_2, ρ'_3, ρ''_3, ρ_4 désignent les rayons intérieurs et extérieurs des conducteurs cylindriques qui forment le câble, m_1 m_2 m_3 les charges des conducteurs lorsqu'ils sont portés simultanément aux potentiels V_1, V_2, V_3.

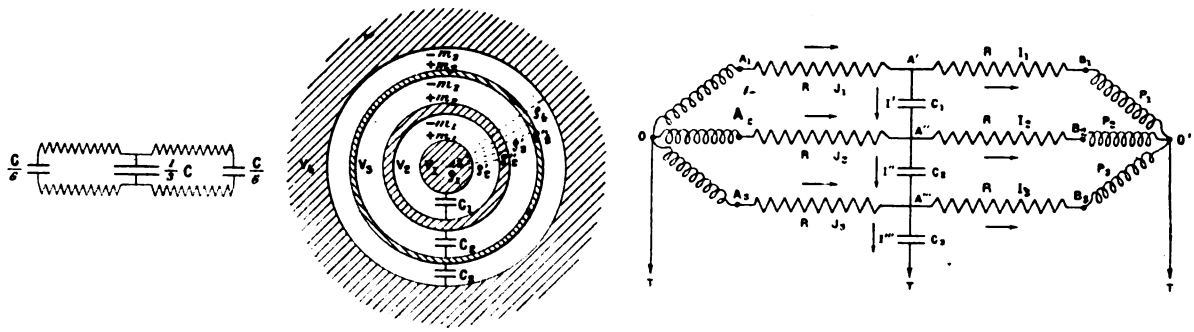


Fig. 1 à 3.

La théorie de l'équilibre électrostatique des condensateurs cylindriques nous donne alors les relations

$$m_1 = \frac{Kl\,(V_1 - V_2)}{2\log_e \frac{\rho'_2}{\rho_1}} = C_1\,(V_1 - V_2)$$

$$m_2 = \frac{Kl\,(V_2 - V_3)}{2\log_e \frac{\rho'_3}{\rho''_2}} = C_2\,(V_2 - V_3)$$

$$m_3 = \frac{Kl\,(V_3 - V_1)}{2\log_e \frac{\rho_1}{\rho''_3}} = C_3\,(V_3 - V_1)$$

l désignant la longueur du câble ; K la constante diélectrique de l'isolant ; C_1, C_2, C_3 les capacités des condensateurs schématiques représentés figure 2 et supposés branchés au milieu du câble.

La figure 3 représente alors le schéma du réseau de conducteurs dont nous avons à construire le diagramme de fonctionnement. Dans ce schéma nous avons supposé le montage étoilé et les deux points neutres OO′ à la terre T ainsi que l'armature extérieure du câble.

OA_1, OA_2, OA_3, représentent alors les enroulements du générateur triphasé ; B_1O', B_2O', B_3O', les enroulements du récepteur triphasé (moteur, transformateur, etc.), A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3, les trois conducteurs du câble triphasé. Dans ce schéma nous avons négligé les effets d'induction qui sont généralement très faibles, particulièrement lorsque les capacités du câble sont grandes. Il suffit pour s'en rendre compte de comparer les formules de capacité ci-dessus avec celles des coefficients d'induction (voir : *Éclairage Élect.*, t. I, p. 193).

Pour construire le diagramme nous nous donnons le courant, la tension et le décalage

Digitized by Google

dans les appareils d'utilisation à l'arrivée. Ces données dépendent en effet de la nature de ces appareils et de leur mode d'emploi. Nous supposons en outre les trois phases du récepteur également et symétriquement chargées. Partant de cette hypothèse nous construisons le diagramme de la façon suivante.

Nous menons (fig. 4) les droites $\overline{B_1T}$, $\overline{B_2T}$, $\overline{B_3T}$ faisant entre elles des angles de 120° et représentant les tensions connues à l'arrivée P_1, P_2, P_3 ; puis les droites $\overline{B_1I_1}$, $\overline{B_2I_2}$, $\overline{B_3I_3}$, représentant les intensités à l'arrivée qui nous sont également connues. Puisque les phases du récepteur sont symétriques et également chargées, ces trois droites font également entre elles des angles de 120° et sont décalées par rapport à leurs tensions respectives d'un même angle φ.

Nous menons alors les droites

$$\overline{A'B_1} = RI_1 \parallel \overline{B_1I_1}$$
$$\overline{A''B_2} = RI_2 \parallel \overline{B_2I_2}$$
$$\overline{A'''B_3} = RI_3 \parallel \overline{B_3I_3}$$

ces trois droites représentant les chutes de voltage dues à la résistance ohmique de la moitié de chaque conducteur du câble. Pour connaître la tension à laquelle les points A', A'', A''' (fig. 3) sont par rapport à la terre il suffirait de mener (fig. 4) les droites $\overline{A'T}$, $\overline{A''T}$, $\overline{A'''T}$; nous ne l'avons pas fait pour ne pas charger la construction.

Pour déterminer les courants de charge des condensateurs nous avons à envisager les tensions entre A' et A'', A'' et A''', A''' et T (fig. 3) pour cela nous menons (fig. 4) les droites $\overline{A'A''}$, $\overline{A''A'''}$, $\overline{A'''T}$ qui les représentent et comme les résistances de branchement des condensateurs peuvent être considérées comme nulles, les intensités I', I'', I''' (fig. 3) sont représentées (fig. 4) par les droites $\overline{A'I'}$, $\overline{A''I''}$, $\overline{A'''I'''}$ respectivement perpendiculaires aux tensions $\overline{A'A''}$, $\overline{A''A'''}$, $\overline{A'''T}$ (en avant de $\frac{\pi}{2}$ par rapport à elles) et respectivement égales à

$$\omega C_1 \overline{A'A''},\ \omega C_2 \overline{A''A'''},\ \omega C_3 \overline{A'''T}$$

ω étant égal à 2π fois la fréquence.

Nous avons à déterminer maintenant les intensités J_1, J_2, J_3 ; pour cela nous composons géométriquement

$$J_1 = (I' + I_1)$$
$$J_2 = (I'' + I_2 - I')$$
$$J_3 = (I''' + I_3 - I'')$$

et nous obtenons les droites $\overline{B_1J_1}$, $\overline{B_2J_2}$, $\overline{B_3J_3}$ qui représentent les intensités au départ. Il est aisé de voir que ces intensités ne sont plus généralement décalées entre elles de 120° et que la capacité de la ligne a introduit une petite dissymétrie. Il nous reste enfin à déterminer les tensions $\overline{A_1O'}$, $\overline{A_2O'}$, $\overline{A_3O'}$ qui en valeur absolue représentent également les tensions au départ $\overline{OA_1}$, $\overline{OB_2}$, $\overline{OA_3}$. Pour cela nous menons (fig. 4) les droites $\overline{A_1A'}$, $\overline{A_2A''}$, $\overline{A_3A'''}$ respectivement parallèles à $\overline{B_1J_1}$, $\overline{B_2J_2}$, $\overline{B_3J_3}$ et égales à RJ_1, RJ_2, RJ_3 ; ces droites représentent les composantes dues à la chute de voltage ohmique dans la première moitié des conducteurs du câble. On obtient donc en définitive les droites $\overline{A_1T}$, $\overline{A_2T}$, $\overline{A_3T}$ représentant les tensions au départ.

Il est à remarquer que ces droites ne sont généralement plus décalées de 120° l'une par rapport à l'autre par suite de la dissymétrie provenant de la capacité du câble. Si l'on avait traité le problème en partant de la supposition de courants et de tensions symétriques au départ, la dissymétrie se serait alors traduite sur les courants et les tensions à l'arrivée.

Digitized by Google

Pratiquement la capacité du câble aura généralement pour effet que tensions et courants ne seront rigoureusement symétriques ni au départ ni à l'arrivée.

Comme on le voit le diagramme (fig. 4) résout complètement le problème ; il nous donne tous les courants du schéma (fig. 3) et il est aisé d'en déduire les tensions d'un point quelconque du schéma par rapport à la terre ou par rapport à un point quelconque du réseau. Cette déduction est d'autant plus aisée que les différents points du schéma (fig. 3) ont la même désignation que sur le diagramme (fig. 4) conformément au mode de procéder que nous avons adopté.

Il nous reste à dire quelques mots du cas où les phénomènes d'induction ne seraient pas négligeables, par rapport à la chute ohmique dans le câble. Il y aurait alors lieu de tenir compte et de représenter sur les diagrammes les forces électromotrices dues à ces effets ou plutôt les composantes électromotrices de la tension qui les surmonte.

Si nous désignons par L_1, L_2, L_3 les coefficients de self-induction des trois conducteurs considérés isolément, par $M_{1\cdot2}$, $M_{1\cdot3}$, $M_{2\cdot3}$ les coefficients d'induction mutuelle, tous ces coefficients étant rapportés à la demi-longueur du câble (voir pour les formules de ces coefficients, *Éclairage Élect.*, t. I, p. 193) ; les composantes de la tension qui surmonte les forces électromotrices d'induction agissant dans les conducteurs seront

$$L_1 \frac{di_1}{dt} + M_{1\cdot2} \frac{di_2}{dt} + M_{1\cdot3} \frac{di_3}{dt} \quad \text{1 : 2 conducteur (1)}$$

$$L_2 \frac{di_2}{dt} + M_{1\cdot2} \frac{di_1}{dt} + M_{2\cdot3} \frac{di_3}{dt} \quad \text{1 : 2 conducteur (2)}$$

$$L_3 \frac{di_3}{dt} + M_{1\cdot3} \frac{di_1}{dt} + M_{2\cdot3} \frac{di_2}{dt} \quad \text{1 : 2 conducteur (3)}$$

avec la condition des courants polyphasés

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

En effectuant la construction pour une phase seulement (fig. 5) nous aurions

$\overline{B_1 O'}$ tension à l'arrivée
$\overline{B_1 I_1}$ intensité à l'arrivée
$\overline{D_1 B_1} = R I_1 \parallel \overline{B_1 I_1}$ chute ohmique
$\overline{F_1 D_1} = \omega L_1 I_1 \perp \overline{B_1 I_1}$ c. e. m. de self.-induct.
$\overline{G_1 F_1} = \omega M_{1\cdot2} I_2 \perp \overline{B_2 I_2}$
$\overline{A' G_1} = \omega M_{1\cdot3} I_3 \perp \overline{B_3 I_3}$

Lorsque $M_{1\cdot2}$, $M_{1\cdot3}$ sont peu différents, ce qui est généralement le cas, la tension résultante des phénomènes d'induction peut être réduite à un seul terme. On a en posant $M_{1\cdot2} = M_{1\cdot3} = M$ et en tenant compte de l'équation des intensités polyphasées

$$L_1 \frac{di_1}{dt} + M_{1\cdot2} \frac{di_2}{dt} + M_{1\cdot3} \frac{di_3}{dt} = (L_1 - M) \frac{di_1}{dt}$$

Dans ce cas la construction relative aux composantes électromotrices d'induction se réduit à une droite unique

$$\overline{A'' D_1} = \omega (L_1 - M) I_1 \perp \overline{B_1 I_1}$$

La même construction s'applique naturellement, aux phases (2) et (3).

On aurait alors à mener comme sur la figure 4 les droites $\overline{A A''}$, $\overline{A' A'''}$, $\overline{A'' T}$ et les inten-

Digitized by Google

sités de charges des condensateurs $\overline{AI'}$, $\overline{A''I''}$, $\overline{A'''I'''}$ puis à composer les intensités de manière à obtenir les intensités au départ J_1, J_2, J_3.

Enfin pour trouver les tensions au départ, il faudrait tracer les composantes électromotrices, relatives à la résistance ohmique et aux effets d'induction dans la première moitié du câble, d'une façon tout à fait analogue à la méthode indiquée plus haut. Le problème complet représenté par le schéma (3) serait ainsi entièrement résolu (voir fig. 5).

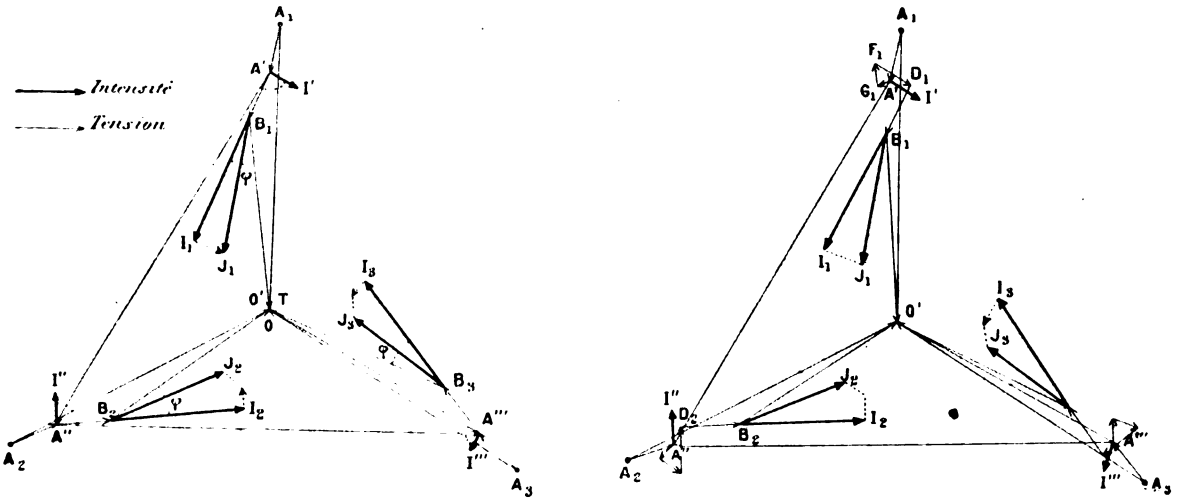


Fig. 4 et 5.

Nous avons tenu à donner ci-dessus la résolution complète du problème relatif au schéma (fig. 3), bien que les résultats que l'on obtiendra par cette méthode ne fourniront qu'une approximation de ce qui se passe en réalité, et cela pour deux motifs principaux qu'il n'est pas inutile de rappeler en terminant. En premier lieu l'hypothèse d'un condensateur unique branché au milieu du câble ne correspond pas tout à fait à la réalité et en second lieu les forces électromotrices et les courants alternatifs présentent le plus souvent des harmoniques à haute fréquence, qui ont pour effet d'altérer généralement d'une façon fort appréciable l'exactitude des résultats dès que la capacité entre en jeu.

Il en résulte que dans nombre de cas on n'aura pas intérêt à compliquer et alourdir inutilement la construction en voulant tenir compte de toutes les forces électromotrices qui agissent dans le réseau (fig. 3). On pourra très souvent, par exemple, négliger celles qui résultent des phénomènes d'induction et même de la résistance ohmique du câble, sans que pour cela les résultats présentent une moins grande garantie d'exactitude puisque les bases de la méthode sont approximatives et que ces forces électromotrices sont supposées petites.

En outre il ne faut pas oublier qu'au point de vue de l'industrie, il n'est généralement pas nécessaire de calculer avec exactitude les phénomènes de capacité dont une canalisation est le siège. Le point essentiel est de savoir s'ils sont assez petits pour ne pas entraîner de perturbations importantes dans le service, en d'autres mots de calculer leur ordre de grandeur. Des constructions du genre de celles qui précèdent permettront alors d'arriver rapidement à ce résultat.

Ch.-Eug. Guye,
Professeur agrégé,
Ecole polytechnique de Zurich.

Digitized by Google

LES FIACRES ÉLECTRIQUES DE NEW-YORK (1)

II. — Usines de charge

L'usine de charge de la première installation ne présentait rien de particulier. C'était une longue galerie. Le long d'un de ses murs étaient rangées les voitures ; le long du mur opposé, sur des bancs de charge appropriés, étaient rangées les batteries. La manutention se faisait par des chariots transporteurs à plate-forme mobile.

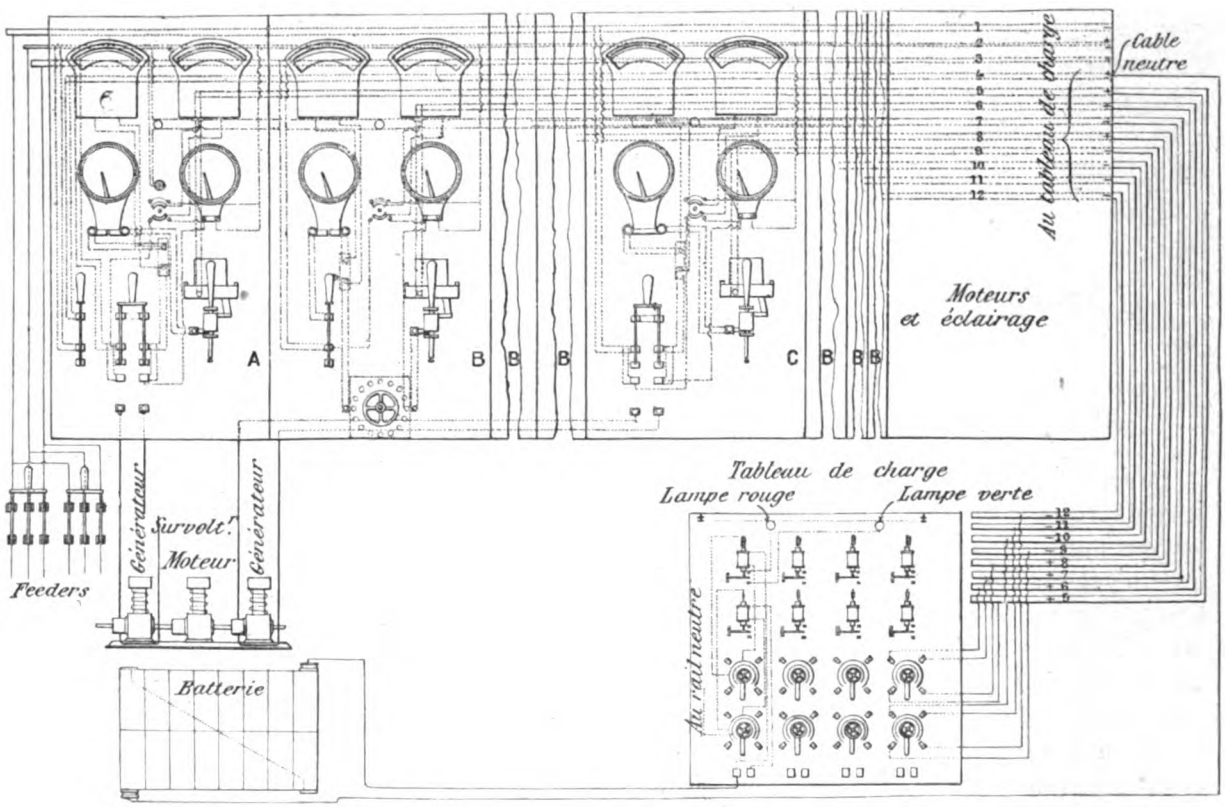


Fig. 16. — Schéma général des circuits à l'usine de charge.

Dans la nouvelle installation, au contraire, les dispositions adoptées sont des plus intéressantes.

La figure 16 donne le schéma complet des circuits. Deux feeders pour distribution à trois fils ont été établis entre la station centrale et le dépôt des fiacres. Ils aboutissent tous deux par l'intermédiaire d'interrupteurs tripolaires, aux rails du tableau. Celui-ci comprend neuf panneaux, dont quatre pour les rails positifs et quatre pour les rails négatifs. Deux survolteurs d'une puissance de chacun 200 ampères sous 5 à 15 volts, commandés par un moteur électrique de 5,5 kilowatts, permettent d'augmenter la différence de potentiel de chacun des ponts, sur des rails spéciaux. Chaque rail est connecté au tableau par un inter-

(1) *L'Éclairage Électrique* du 13 janvier, p. 51.

Digitized by Google

rupteur unipolaire, un interrupteur à maximum et à minimum, et un rhéostat qui permet de faire varier la différence de potentiel utile.

Chaque banc de charge est relié à un autre tableau représenté en bas et à droite de la figure, au moyen duquel la batterie correspondante peut être mise en communication avec l'un quelconque des rails (positif, négatif, haut ou bas voltage).

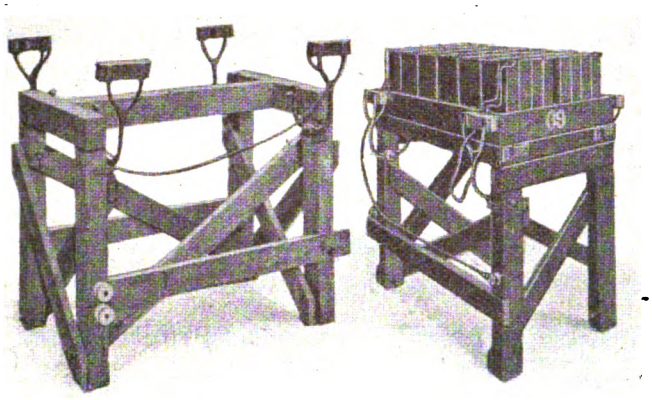


Fig. 17. — Banc de charge.

Ce tableau comprend, pour chaque banc, un ampèremètre à solénoïde qui ferme le courant sur une lampe verte ou sur une lampe rouge, suivant que l'intensité dépasse 50 ampères ou tombe au-dessous de 20 ampères. Lorsqu'une de ces lampes s'allume, l'électricien est averti qu'il doit modifier le régime de charge d'une des batteries en mettant celle-ci en communication avec un autre rail. Ce service est fait par l'ouvrier chargé de la manœuvre du pont roulant dont nous parlerons plus bas.

Les batteries sont chargées à intensité constante.

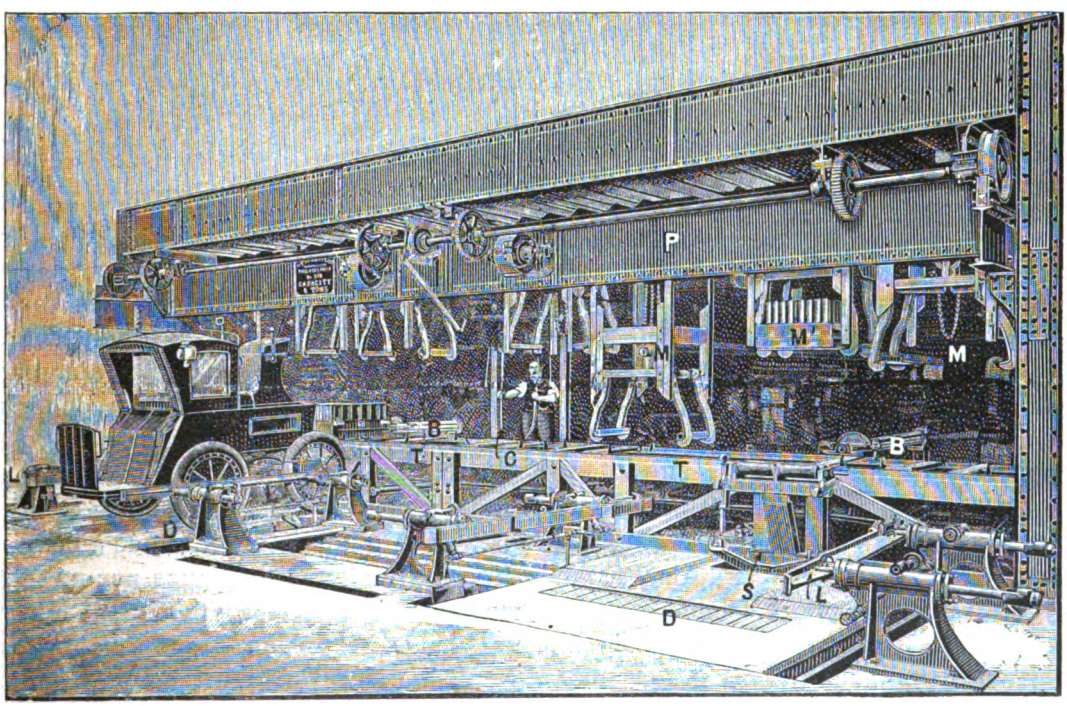


Fig. 18. — Vue d'ensemble des dispositifs de charge.

Les bancs de charge sont disposés de la façon suivante : chacun d'eux (fig. 17) est composé d'un tréteau en bois verni à l'épreuve des acides ; à sa partie supérieure, il porte

***

Digitized by Google

quatre leviers en fer, ayant la forme d'un U dont une des branches est plus courte que l'autre ; le petit bras est à l'intérieur ; ces leviers sont pivotés au milieu de la courbe de l'U, sur le tréteau. Ils sont disposés, comme le montre la figure, sur chacun des coins du tréteau ; ils sont reliés aux câbles d'amenée du courant et connectés deux à deux en croix ; cette disposition est rendue nécessaire parce que chaque batterie de 48 éléments est divisée en deux groupes de 24 ; les circuits étant ainsi disposés, les 48 éléments sont chargés en série. Lorsqu'on pose une batterie sur le banc, elle vient s'appuyer sur le petit bras du levier, qu'elle fait basculer par son propre poids ; le grand bras, qui porte des contacts à ressorts, vient alors appuyer avec force sur les plaques de contact de la boîte contenant la batterie.

Les bancs de charge sont disposés en huit rangées parallèles, séparées chacune par un passage. Chaque rangée comprend vingt-cinq bancs, en sorte que l'ensemble permet de charger simultanément 200 batteries.

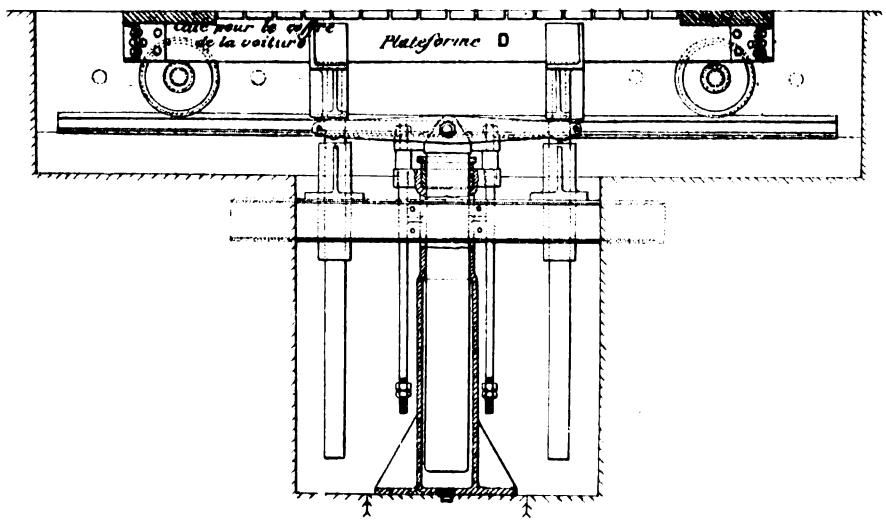


Fig. 19. — Élévation du levier hydraulique vertical.

La manutention des batteries est la partie la plus originale de l'installation ; elle est faite entièrement par des appareils mécaniques en sorte qu'un seul ouvrier peut, en 2 1/2 à 3 minutes retirer la batterie épuisée, en reprendre une neuve, la mettre en place et replacer la batterie épuisée sur le banc de charge. Il faut évidemment un cocher pour amener la voiture en place.

Voici quelles sont les dispositions adoptées (fig. 18).

Un pont roulant électrique P peut circuler au-dessus des bancs de charge et prendre l'une quelconque des batteries ; il amène cette dernière sur une table T située à l'extrémité des bancs de charge et dont le dessus est formé de chaînes sans fin, mues par un moteur, en sorte que la batterie qui y est déposée est facilement transportable sur toute sa longueur.

L'arrière de la voiture dont la batterie doit être changée est placé le long du côté de cette table opposé aux bancs de charge, la porte du coffre à batterie ayant, bien entendu, été ouverte d'avance. La voiture repose sur une plateforme D qui permet : 1° au moyen de deux leviers horizontaux L manœuvrés hydrauliquement, de placer la voiture dans une position déterminée dont elle ne peut bouger ; 2° au moyen d'un levier hydraulique vertical S de soutenir le coffre de la voiture au niveau même de la table sans que ce coffre repose sur les

Digitized by Google

ressorts ou les pneumatiques dont l'élasticité fait varier la hauteur lorsqu'on enlève ou qu'on remet la batterie.

Aussitôt que la voiture est en place, un troisième levier horizontal B, mû aussi hydrauliquement, avance au-dessus de la table, saisit la batterie épuisée par des crochets, puis se retire et dépose la batterie sur la table ; le moteur de cette dernière est alors mis en mouvement, de façon que la batterie épuisée s'éloigne et que la batterie neuve vienne se placer en face du coffre de la voiture ; le levier B est alors à nouveau mis en mouvement ; il pousse la nouvelle batterie dans le coffre de la voiture, ce qui suffit à établir automatiquement les communications avec le circuit des moteurs. La voiture est alors libérée des leviers L et S qui la maintenaient ; elle peut se mettre en marche. La batterie épuisée est ensuite reprise par le pont roulant qui la transporte sur l'un quelconque des 200 bancs de charge.

Toutes les manettes qui commandent les différents organes : pont roulant, table transporteuse, leviers hydrauliques, sont sous la main d'un seul ouvrier placé en C dans la cabine

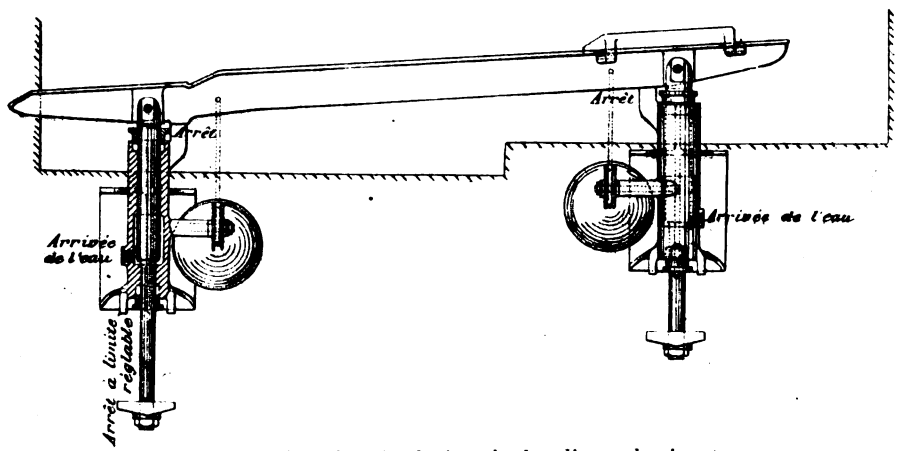


Fig. 20. — Plan d'un des leviers hydrauliques horizontaux.

du pont roulant ; elles sont bien distinctes les unes des autres, en sorte qu'il n'y a jamais de fausse manœuvre. Il y a deux plateformes D le long de la table T comme on le voit sur la figure.

L'amplitude des mouvements des leviers hydrauliques est déterminée par la construction même des appareils, en sorte que les voitures viennent toujours occuper les mêmes positions. Les figures 19 et 20 donnent les détails de construction des leviers L et du levier S. La plateforme sur laquelle reposent les voitures est en deux parties indépendantes, chacune est mobile sur un petit chariot qui circule sur des rails parallèles à la table. Les roues d'avant de la voiture reposent sur une des parties de la plate-forme, l'arrière-train sur l'autre. De cette façon, la voiture peut facilement céder à la poussée des leviers horizontaux, sans que l'effort exercé par ceux-ci puisse abîmer ou déformer la voiture.

Le moteur qui actionne le transporteur à chaîne de la table est un moteur Westinghouse tétrapolaire d'une puissance de 5 chevaux.

Le pont roulant s'étend sur toute la largeur de la salle des accumulateurs, et peut être déplacé sur toute la longueur de cette salle sur des rails R. Il est mû électriquement ; tous les organes de commande sont concentrés dans la cabine C qui passe presque au niveau du sol, dans le passage central ménagé entre les 8 rangées de bancs de charge. Sur le pont, sont montées 8 mâchoires M dont la construction est clairement représentée sur la figure 18. Chaque mâchoire est située exactement au-dessus d'une des rangées de batteries. Lorsqu'on

Digitized by Google

veut enlever une des batteries, on fait avancer le pont au-dessus de celle-ci; l'ouvrier met en marche un moteur électrique qui, au moyen de chaînes, fait descendre la mâchoire correspondante; celle-ci descend tout ouverte, en sorte que la batterie peut passer entre ses deux côtés. Lorsqu'elle est descendue en dessous de la batterie, elle se referme automatiquement, puis s'élève, enlevant la batterie avec elle. Ces différentes opérations se font automatiquement, avec un moteur tournant toujours dans le même sens, grâce à la longueur convenablement calculée des différentes chaînes. On voit en M' sur la figure 18, une des batteries ainsi élevée par une des mâchoires. Le pont roulant est ensuite mis en marche jusqu'à ce que la batterie soit au-dessus de la table T. Le moteur qui actionne les mâchoires est alors mis en marche en sens contraire à la fois précédente; la mâchoire descend déposer la batterie sur la table et remonte automatiquement.

En plus de l'installation décrite, une troisième plate-forme pour le chargement de la voiture a été disposée sur le côté de la salle des batteries; la manutention y est faite au moyen de chariots et d'un levier hydraulique, mais aucune disposition n'a été prise pour maintenir la voiture en place. Cette plate-forme n'est utilisée qu'en cas d'accident à la première.

Le premier étage est utilisé pour la réserve de voitures et les ateliers de réparation. Il est relié au rez-de chaussée par deux monte-charges d'une force de 2,5 tonnes chacun.

L'installation est complétée par des compresseurs d'eau et d'air pour la manœuvre des leviers et le gonflement des pneumatiques.

Toutes les nouvelles stations de charge seront du modèle que nous venons de décrire.

G. Pellissier.

LE

DÉVELOPPEMENT DES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ EN 1899

I. — Génération et distribution de l'énergie électrique

Les secteurs parisiens. — Nous aurions été heureux aux approches de l'Exposition universelle de 1900, et les secteurs l'auraient été encore plus, si nous avions eu à enregistrer dans le courant de l'an dernier une tendance quelconque à la prolongation des concessions. C'était pourtant ou jamais le moment; l'organisation des services d'éclairage pour 1900 a forcé la plupart des secteurs à augmenter leur matériel, mais ceux-ci, poursuivis par l'idée d'un amortissement désormais impossible, ont fait juste le nécessaire et rien du surplus qu'on était en droit d'attendre.

Si donc l'éclairage électrique de Paris ne donne pas pendant le cours de l'Exposition les merveilles qu'on eût été heureux de constater et de faire constater aux autres, la ville et nos édiles n'auront qu'à s'en prendre à eux-mêmes.

Il nous suffira, du reste, de passer en revue l'état actuel du matériel générateur des principaux secteurs, pour nous rendre compte que leur développement pendant l'année qui vient de s'écouler a été peu important en somme, et qu'on n'a fait que continuer les travaux prévus et commencés en 1898.

Nous avons dit que deux des secteurs à courant continu, la Compagnie continentale

Digitized by Google

Edison et le secteur de la place Clichy, avaient créé des usines à l'extérieur de Paris. L'usine de Saint-Denis qui doit alimenter le premier et qui transportera l'énergie sous forme de courant continu à 4 400 volts n'est pas encore en service et ne le sera que dans les premiers mois de 1900.

La Société « le Triphasé » dont l'usine d'Asnières doit alimenter les commutatrices installées dans l'usine de la rue des Dames n'est pas non plus en service ; l'un des premiers groupes de 1 200 kilowatts sera mis en route dans une période prochaine ainsi que les deux premières commutatrices correspondantes.

La Compagnie parisienne de l'air comprimé continue toujours l'extension de son usine du quai de Jemmapes. Le nombre de groupes de 750 kilowatts installés complètement est maintenant de 11 et sera bientôt porté à 13, sur les 23 à installer.

Arrivons maintenant aux secteurs distribuant l'énergie sous forme de courant alternatif monophasé.

L'usine du secteur des Champs-Élysées comprend actuellement six alternateurs-volants Hutin-Leblanc-Farcot, dont la puissance est de 600 kilowatts par unité. Un septième groupe identique est actuellement en montage. Ce groupe complète la capacité prévue pour une première partie de l'usine ; les bâtiments ont été complètement achevés dans le cours de l'an dernier ; la chaufferie comporte, en outre des 14 chaudières Galloway, de Renaud et Bonpain prévues primitivement, une batterie de 4 chaudières Babcock et Wilcox de 600 chevaux chacune destinée à servir d'appoint aux heures de la pleine charge.

En principe, une seconde usine de même puissance que la première doit être construite dans l'avenir, dans une position symétrique à la précédente sur des terrains déjà acquis par la Compagnie du secteur des Champs-Élysées.

Ce secteur qui alimente provisoirement en ce moment le secteur de Levallois est un des plus importants de Paris, et nous espérons que notre sympathique collaborateur, M. Guilbert, voudra bien profiter de l'achèvement de la première usine pour décrire les nombreuses modifications qui ont été apportées depuis les descriptions données par M. F. Geraldy (1) et par lui (2).

Le secteur électrique de la Rive gauche, le plus favorisé en ce qui concerne l'Exposition Universelle, suit un développement aussi rapide que le précédent. Les bâtiments pour l'aménagement des 10 groupes prévus sont terminés et 8 des groupes de 400 kilowatts sur les 10 à installer sont maintenant en service.

Comme pour le précédent également, on prévoit maintenant la construction d'une seconde usine identique à la première et disposée aussi symétriquement.

Le secteur de la Société d'Éclairage et de Force qui emploie à la fois le courant continu et les courants alternatifs diphasés, ces derniers seulement comme transport, modifie en ce moment son usine de La Villette ou du quai de la Loire en remplaçant l'un des groupes existants par un groupe électrogène Farcot de 250 kilowatts.

L'usine du quai de Seine doit recevoir à la fin de cette année un nouveau groupe à courants diphasés Farcot, avec amortisseurs Leblanc et dont la puissance est de 750 kilowatts ; ce groupe est destiné à alimenter des transformateurs-redresseurs Leblanc qui seront installés dans les diverses usines que la Société d'Éclairage et Force possède à Paris.

L'emploi des génératrices polymorphiques. — Le fait le plus marquant dans le développement des stations centrales nous revient, comme souvent, d'Amérique. Les ingénieurs

(1) Voir *La Lumière Électrique*, t. XLVIII, p. 151, 1893.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 193, 1896.

Digitized by Google

américains, toujours partisans d'une grande simplification et d'une grande uniformité dans les usines de production de l'énergie électrique, préconisent beaucoup l'emploi des génératrices à double courant (double current generators) nommées et bien nommées, il y a quelques années déjà, « génératrices polymorphiques » par M. Hospitalier.

Ce genre de machines, très cousines des commutatrices desquelles elles ne diffèrent pas *extérieurement*, ne sont autre chose que des dynamos à courant continu avec prises de courant pour l'obtention d'un système de courants polyphasés quelconques.

Les avantages de ces machines sont assez sérieux pour attirer l'attention des électriciens chargés de l'organisation des stations centrales modernes; elles donnent, en effet, à la fois le courant continu pour la distribution dans le voisinage de l'usine et les courants alternatifs pour le transport à distance après élévation de la tension. Séparées des moteurs à vapeur qui les conduisent, elles peuvent fonctionner comme commutatrices inversées, c'est-à-dire comme transformateur de courant continu en courants alternatifs et permettre ensuite l'alimentation des réseaux éloignés de l'usine de production à l'aide d'une batterie d'accumulateurs chargée pendant les heures de marche à faible charge.

Quoi qu'il en soit, toutes ces considérations sont bien connues en France depuis quelques années, et une première application en a été faite à la station centrale de Rouen en 1895.

La première application du même genre a été faite en Amérique à la station centrale Edison d'Harrisson Street à Chicago, en 1897 seulement, en employant ce genre de machine comme transformateurs de courant continu en courants alternatifs; c'est devant le succès obtenu que l'on a décidé d'installer des groupes mixtes composés d'un moteur à vapeur accouplé directement à deux dynamos polymorphiques de 200 kilowatts chacune. Ajoutons, ce qui a son intérêt pour concilier les conditions tout à fait contraires à remplir dans l'étude des alternateurs et des machines à courant continu, que la fréquence n'est que de 25 périodes par seconde et que de plus le réglage de la tension des courants alternatifs se fait à l'aide de régulateurs de tension d'un type connu, et constitué par un transformateur à rapport de transformation variable.

Les dynamos a courant continu. — Au point de vue scientifique comme au point de vue industriel, les dynamos à courant continu et celles à courants alternatifs ont été l'objet de quelques travaux dignes d'être signalés.

En ce qui concerne les dynamos à courant continu, nous citerons d'abord les travaux de M. Fischer-Hinnen [1] sur la théorie des étincelles dans les machines à courant continu, qui complètent les idées émises par leur auteur dans le courant de 1898. M. Sengel [2] nous a donné un procédé d'excitation, par courant redressé, des machines à courant continu, employées comme moteurs, qui jouit de grands avantages, principalement au point de vue du démarrage.

Une discussion intéressante a été soulevée par les études de M. Dettmar [3] sur les pertes par frottements dans une dynamo, les résultats obtenus sont très intéressants et jettent un certain jour sur cette question si complexe. Dans le même ordre d'idées, les travaux de M. Arnold [4] à Carlsruhe, sur les pertes par frottement dans les balais de dynamos de MM. Tilbals, Lowenberg et Burns [5] à l'Université de Colombie ont donné des résultats très concordants.

[1] Voir J. Guillaume, *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 41 et 90, 15 et 22 juillet 1899.

[2] Sengel, *L'Écl. Élect.*, t. XVIII, p. 188, 4 février 1899.

[3] Dettmar, *L'Écl. Élect.*, t. XX, p. 133, 29 juillet 1899.

[4] Arnold, *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 224, 13 mai 1899.

[5] Tibals, Lowenberg et Burns, *The Electrical World.*, vol. XXXIV, p. 417.

Digitized by Google

Pratiquement la question des étincelles a été étudiée par M. Sidney Brown (1) par l'emploi de circuits magnétiques et inducteurs doubles dont l'un est uniquement destiné à faciliter la commutations.

Pour terminer, citons enfin les dynamos unipolaires à réaction d'induit compensée de M. Finlay (2), l'organe compensateur étant semblable à ceux employés dans les méthodes bien connues de MM. Fischer-Hinnen, Menges, Ryan, etc.

Les courants alternatifs. — Les perfectionnements des appareils à courants alternatifs sont beaucoup plus nombreux que les précédents. Il faut citer en première ligne les commutatrices qui ont été l'objet d'applications nombreuses (3).

Leur développement s'est considérablement accru dans le cours de l'an dernier en Amérique et même en Angleterre; la plus importante application que prépare la General Electric Company est celle de l'usine de 70 000 chevaux destinée à la traction de New-York.

Nous avons reproduit dans cette revue les nombreux mémoires que nous avions signalés l'an dernier à pareille époque; parmi eux les plus importants, ceux de MM. Steinmetz (4) et Kapp (5) ont été complétés et corrigés par M. Guilbert qui a donné le tableau complet des puissances comparées d'une même machine fonctionnant comme commutatrice d'un ordre polyphasé quelconque et comme machine à courant continu.

Dans le domaine de la distribution par courants polyphasés, l'invention qui nous paraît le plus mériter d'être signalée est celle de M. Steinmetz (6), relative à l'alimentation d'un réseau triphasé à l'aide de trois génératrices à courant alternatif simple et couplées en série fermée sur elle-même. C'est en effet une des idées les plus originales qu'ait eues le savant ingénieur de la General Electric Company.

Moins original peut-être, mais non moins pratique, est le système du même auteur pour le réglage d'un réseau local, indépendamment de celui de la canalisation générale à courants polyphasés sur laquelle il est branché et consistant en l'emploi d'une self-induction et d'un moteur synchrone à excitation variable automatiquement (7).

M. Steinmetz, dont les brevets ont été très nombreux cette année, nous a encore donné un système de démarrage (8) des moteurs monophasés à l'aide d'un second enroulement décalé de plus d'un demi-pôle par rapport à l'enroulement normal et fermé sur un condensateur, ainsi qu'un procédé (9) pour augmenter le facteur de puissance. Ce dernier qui consiste à bobiner sur l'inducteur du moteur un second enroulement dont l'axe est décalé par rapport à l'axe de l'enroulement normal d'un demi pôle, et qu'on ferme ensuite sur un condensateur, avait déjà été signalé par MM. Sautter et Harlé en 1895.

Le démarrage des moteurs à courants alternatifs simples ou polyphasés nous a valu les dispositifs de M. Déri (10), de MM. Stone et Doane (11), par résistance, self-induction et capa-

(1) Sidney Brown, *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 303, 25 février 1899.

(2) Finlay, *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 417, 18 mars 1899.

(3) Voir C. Pio, *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 64, 14 octobre 1899.

(4) Steinmetz, *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 337, 4 mars 1899.

(5) Kapp, *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 379, 11 mars 1899.

(6) Steinmetz, *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 401, 17 juin 1899.

(7) Steinmetz, *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 281, 27 mai 1899.

(8) Steinmetz, *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 210, 13 mai, 1899.

(9) Steinmetz, *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 166, 6 mai 1899.

(10) Déri, *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 462, 25 mars 1899.

(11) Stone et Doane, *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 210, 13 mai 1899.

Digitized by Google

cité, de M. Steinmetz (1) par suppressions successives des résistances dans l'induit, et enfin de M. Heyland (2) par suppression d'une partie des enroulements.

Comme travaux intéressants sur les moteurs asynchrones à courants polyphasés, les plus originaux, sont ceux de M. Heyland (3) pour le changement du nombre de pôles dans les induits et les inducteurs en vue d'obtenir plusieurs vitesses.

Une des études théoriques les plus importantes sur les alternateurs est celle de M. Blondel (4) sur la réaction d'induit des alternateurs; la distinction de deux coefficients de self-induction dans l'induit, un pour les courants wattés ou plus exactement les courants en coïncidence de phase avec la force électromotrice induite et l'autre pour les courants en quadrature avec cette dernière, simplifie beaucoup l'explication du phénomène si complexe de la réaction d'induit et facilite en même temps le calcul des alternateurs. A citer également la note de M. Potier (5) au sujet de la théorie précédente.

L'étude des diagrammes de couplage des alternateurs en parallèle a été reprise par M. Guilbert (6) par l'étude d'un cas laissé de côté par M. Blondel (7), celui où on suppose que la tension aux bornes du réseau est maintenue constante par la variation des excitations des alternateurs.

M. Leblanc a continué dans le cours de 1899 la publication de ses travaux sur les courants alternatifs; parmi ceux-ci, les seuls qui étaient incomplètement connus de nos lecteurs étaient ceux sur les effets des câbles concentriques (8) et sur l'influence de la self-induction sur l'utilisation des matériaux dans les machines à courants alternatifs (9).

La publication de ces travaux a valu à leur auteur le prix Planté, ce dont nous sommes heureux de le féliciter.

Nous terminerons cette rapide énumération des travaux les plus saillants de l'année 1899 en citant quelques perfectionnements dont les transformateurs ont été l'objet. Ce sont d'abord les transformateurs Siemens et Halske (10) à pertes réduites dans le fer pour la marche à faible charge et en second lieu le rajeunissement des transformateurs proposés par M. Hubley (11) et consistant à porter les tôles au rouge cerise, puis à remonter ensuite l'appareil.

J. REYVAL.

(1) STEINMETZ, *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 209, 11 novembre 1899.

(2) HEYLAND, *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 404, décembre 1899.

(3) HEYLAND, *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 211, 11 novembre 1899.

(4) BLONDEL, *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 151, 2 octobre 1899.

(5) POTIER, *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 192, 4 novembre 1899.

(6) GUILBERT, *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 321, 2 septembre 1899.

(7) Voir *Lumière Électrique*, t. XLV et XLVI, p. 351 et 151.

(8) LEBLANC, *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 81 et 172, 21 et 28 octobre 1899.

(9) LEBLANC, *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 281, 25 novembre 1899.

(10) SIEMENS et HALSKE, *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 49, 15 avril 1899.

(11) HUBLEY, *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 119, 22 juillet 1899.

Digitized by Google

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION DE L'ÉLECTRICITÉ

Nouveau dispositif économique pour le chauffage des chaudières, par **L.-C. Auldjo.** *Industries and Iron.* t. XXVII, p. 427, 29 décembre 1899. Communication faite à la « Engineering Association of New South Wales ».

Les avantages que présentent les condenseurs par surface dans les endroits où la pureté de l'eau dont on dispose pour l'alimentation laisse à désirer, ont eu pour conséquence l'adoption de ces condenseurs dans un assez grand nombre d'usines; mais pour diminuer la quantité d'eau consommée pour le refroidissement de la surface de l'appareil condenseur, l'eau échauffée par cette opération est de nouveau employée après avoir été refroidie par évaporation; ce refroidissement s'effectue soit en lançant l'eau dans l'air sous forme de jets de faible diamètre, soit en faisant tomber cette eau dans une tour que parcourt de bas en haut un courant d'air fourni par un ventilateur. L'auteur a pensé qu'avec ce dernier dispositif il serait possible de récupérer une partie de la chaleur qui a été abandonnée par l'eau pour vaporiser une partie d'elle-même, en envoyant sous le foyer des chaudières l'air chargé de vapeur qui s'échappe de la tour de refroidissement.

A priori il semble que ce procédé doit donner lieu à quelque économie de combustible, car on sait que le tirage artificiellement provoqué par une injection d'air dans le foyer d'une chaudière, permet de mieux utiliser l'énergie calorifique du combustible, les gaz de la combustion pouvant alors être refroidis, avant d'être envoyés dans la cheminée, à une température bien inférieure à celle qui est nécessaire pour assurer le tirage uniquement par la force ascensionnelle de ces gaz. D'autre part on sait aussi que divers constructeurs préconisent, en vue d'augmenter le rendement des chaudières, l'emploi d'un jet de vapeur lancé sur le foyer, la vapeur d'eau donnant au contact du charbon incandescent des gaz combustibles qui allongent la flamme. Mais la quantité de vapeur employée dans ces conditions est ordinairement très faible et dès lors il est permis de se demander si l'envoi dans le foyer d'une quantité de vapeur aussi considérable que celle que contient l'air s'échappant des tours de refroidissement n'apportera pas dans la marche de la combustion quelque perturbation se traduisant par un effet contraire à celui espéré et prévu.

Pour lever ce doute, l'auteur a fait quatre essais comparatifs avec une chaudière alimentant un moteur Tangye de 9 chevaux. Dans les quatre essais la puissance requise du moteur était la même; elle était utilisée à élever la même quantité d'eau à la même hauteur. Dans l'essai n° 1, toute la vapeur provenant de la tour de refroidissement était envoyée dans le foyer par une conduite de 15 cm de diamètre qui, avant d'arriver au foyer, traversait dans toute sa longueur un carneau de 6 m de long situé sous la chaudière, de manière à échauffer l'air. Dans l'essai n° 3, un dixième du poids de vapeur contenue dans l'air venant de la tour de refroidissement était condensé, et l'air chargé de la vapeur restante était conduit directement au foyer par une conduite de 22,5 cm de diamètre; dans l'un et l'autre de ces essais, la pression de l'air dans le foyer était de 9 mm d'eau. Les essais n° 2 et n° 4 étaient faits en envoyant dans le foyer de l'air sec (ou plus exactement de l'air atmosphérique) sous une pression de 8 mm d'eau; la conduite employée dans l'essai 1 servait dans l'essai 2; la conduite utilisée dans l'essai 3 l'était aussi dans l'essai 4.

Ces essais, poursuivis chacun pendant 6 heures, ont montré que la consommation de charbon est de :

9 p. 100 plus faible dans l'essai 1 que dans l'essai 3				
18	»	1	»	2
29	»	1	»	4
10	»	3	»	2
22	»	3	»	4
14	»	2	»	4

La comparaison des essais 1 et 3 d'une part, 2 et 4 d'autre part, montre qu'il y a avantage à échauffer préalablement l'air, humide ou sec, avant de l'injecter dans le foyer. La comparaison de l'essai 1 et 2 d'une part, 3 et 4 d'autre part, indique qu'on réalise une notable économie en se servant de l'air chargé d'humidité provenant de la tour de refroidissement.

....

Digitized by Google

A cette économie viennent s'ajouter divers avantages constatés par les essais. En premier lieu, la fumée est absolument supprimée ; en second lieu, il n'y a pas de dépôt de suie dans les tubes et les carneaux ; enfin, si, comme dans l'essai 3, on condense une partie de la vapeur entraînée par l'air venant de la tour de refroidissement, on obtient une eau très pure qui peut servir à l'alimentation et réparer les pertes inévitables provenant d'une condensation imparfaite et des fuites de vapeur. T. P.

Eaux corrosives et incrusto-corrosives dans les générateurs de vapeur, par **H. de la Coux**. *Génie civil*, t. XXXVI, p. 117, 139 et 140, 23 et 30 déc. 1899 et 6 janvier 1900.

Dans ces trois articles, l'auteur examine les diverses substances en dissolution dans l'eau qui peuvent produire des effets corrosifs, recherche ensuite les moyens de combattre ces effets et enfin examine si les remèdes préconisés pour empêcher les incrustations peuvent en même temps agir comme anti-corrosifs avec des eaux incrusto-corrosives, ou au contraire développer des substances corrosives dans les eaux seulement incrustantes.

1° Les substances pouvant produire des corrosions sont :

Acide chlorhydrique et chlorures. — Avec l'acide chlorhydrique il se produit d'abord du chlorure ferreux $FeCl^2$ qui, en présence de l'oxygène en dissolution dans l'eau, donne de l'oxyde ferrique Fe^2O^3 et du chlorure ferrique Fe^2Cl^6 ; ce dernier sel se décompose lui-même en oxyde ferrique et acide chlorhydrique. Par suite de cette régénération, l'acide chlorhydrique est éminemment corrosif. Fort heureusement les eaux en contiennent rarement à l'état libre.

De tous les chlorures, celui de magnésium est le plus corrosif, car sous l'influence de la chaleur il se dissocie en magnésie et en acide chlorhydrique. Il peut arriver que le chlorure de magnésium n'existe pas dans l'eau d'alimentation, mais qu'il se forme dans la chaudière par réaction d'un chlorure (chlorure de sodium, généralement) sur un sel de magnésium en dissolution (sulfate ou carbonate de magnésium) ; son action est alors non moins corrosive.

Le chlorure d'ammonium, que l'on rencontre dans certaines eaux ayant séjourné dans un milieu de décomposition organique, est très corrosif par suite de sa décomposition en ammoniaque et acide chlorhydrique au contact du fer.

Les chlorures de calcium et de sodium agissent d'une façon beaucoup moins énergique.

Les chlorures de fer sont actifs en raison des décompositions et oxydations qu'ils subissent.

Acide sulfurique et sulfates. — Avec l'acide sulfurique il se produit une série de réactions analogues à celles que donne l'acide chlorhydrique : formation de sulfate ferreux par attaque de la chaudière, transformation en sulfate ferrique par l'oxygène dissous, réduction en sulfate ferreux avec régénération de l'acide sulfurique.

Le sulfate d'aluminium que l'on rencontre dans les eaux de certains terrains argileux ou schisteux, se dédouble en partie sous l'influence de la chaleur en alumine et en acide sulfurique ; il est fortement corrosif.

Le sulfate de cuivre qu'on est exposé à trouver dans les eaux de mines, attaque le fer des générateurs en donnant du sulfate ferreux lequel continue l'attaque en raison de ses oxydations et décompositions successives.

Azotates. — Bien que n'existant généralement qu'en très faible quantité, les azotates ont une action corrosive énergique. Dès qu'il peut se produire de l'azotate ferreux la corrosion devient rapide pour les raisons déjà indiquées pour le chlorure et le sulfate de fer. Si en même temps que des azotates l'eau contient des sulfates acides ou de l'acide sulfurique provenant de la décomposition de sulfates, il se produit de l'acide azotique libre.

Acide sulfhydrique et sulfures. — Ces substances agissent principalement par les sulfates auxquels ils peuvent donner naissance par oxydation.

Anhydride sulfureux. — Par oxydation il se produit de l'acide sulfurique. S'il y a en même temps du chlorure ferrique, celui-ci sera réduit par l'anhydride sulfureux avec formation d'acide sulfurique et d'acide chlorhydrique.

2° Les substances préconisées pour combattre les effets corrosifs des eaux sont :

Zinc. — L'action corrosive se porte sur ce métal au lieu de se porter sur le fer des générateurs. Le zinc offre un inconvénient : il forme avec le fer un couple voltaïque et sous l'influence du courant électrique ainsi développé, il se re-

Digitized by Google

couvre d'une couche d'oxyde qui empêche son attaque ultérieure par les substances corrosives.

Chaux. — Cette substance atténue beaucoup les propriétés corrosives des eaux de mines et de l'eau de mer, mais s'il y a des sulfates il se forme du sulfate de calcium et les eaux deviennent incrustantes.

Carbonate de calcium. — Recommandée par M. Le Châtellier, cette substance est préférable à la chaux, car elle ne décompose pas le sulfate de magnésium. Son emploi augmente nécessairement la masse du dépôt incrustant, mais il diminue la dureté de ce dépôt.

Soude et potasse. — Ces deux bases constituent d'excellents anti-corrosifs, mais elles n'ont aucun effet appréciable sur les incrustations, si ce n'est lorsque l'eau renferme du carbonate de calcium.

Carbonates alcalins. — Ces sels sont préférables aux alcalis. Ils précipitent les sels de magnésie, complètement si l'introduction du carbonate se fait dans la chaudière, incomplètement par suite de la formation d'un bicarbonate de magnésium un peu soluble si l'introduction se fait à froid. Le sulfate ferrique, le sulfate d'aluminium donnent un précipité et du sulfate de sodium. Quant aux incrustations, elles sont fortement diminuées par suite de la transformation du sulfate de calcium en carbonate de calcium.

Hydrate de baryum. — Cette base est bien préférable à la chaux. Elle agit aussi bien que celle-ci comme anti-corrosif; en outre elle agit comme anti-incrustant en précipitant le sulfate de calcium à l'état de sulfate de baryum et de chaux.

Carbonate de baryum. — L'emploi de ce corps n'est pas à recommander pour les eaux renfermant des sels de magnésium, ces sels n'étant l'objet d'aucune transformation avantageuse de sa part. Pour certaines eaux de mines il offre l'avantage de précipiter totalement, même à froid, le sulfate ferrique et le sulfate d'aluminium. Il diminue les incrustations en précipitant le sulfate de calcium.

Autres substances. — L'auteur a essayé dans certains cas spéciaux l'emploi de diverses substances. Les sels de plomb conviennent fort bien pour la précipitation des chlorures; mais ce réactif est coûteux et il se produit des dépôts de plomb métallique sur les parois des chaudières. Les phosphates alcalins donnent de bons résultats avec les eaux magnésiennes; ils ont l'inconvénient d'être coûteux. Les silicates alcalins remplissent à peu près le même but à moins de frais. Les borates alcalins précipitent bien les sels de magnésium, de calcium, de fer et d'aluminium.

3° Les substances préconisées pour combattre les incrustations sont nombreuses et parmi celles qui viennent d'être indiquées pour empêcher les corrosions, quelques-unes sont, comme on a vu, en même temps anti-incrustantes.

L'auteur insiste sur l'importance du choix de la substance anti-incrustante lorsqu'on a à combattre seulement les incrustations que peuvent produire des eaux de rivière ou de forage. Bien souvent, dit-il, par l'emploi de substances anti-incrustantes mal appropriées, il arrive que l'on rend l'eau beaucoup plus dangereuse pour les tôles des générateurs.

En particulier on doit proscrire complètement la magnésie que l'on emploie cependant comme désincrustant. Ce corps donnera en effet avec les carbonate, sulfate et chlorure de calcium, les sels magnésiens correspondants qui, comme on l'a vu, sont très corrosifs.

4° L'auteur se trouve ainsi conduit aux conclusions suivantes:

Les remèdes doivent agir non seulement sur les influences corrosives, mais aussi sur les formations incrustantes, sans introduire de substances capables d'augmenter l'un de ces effets tout en diminuant ou en supprimant l'autre.

Avec la chaux, l'épuration peut se traduire par une augmentation de la masse incrustante; en employant la magnésie, il peut se produire une augmentation de l'influence corrosive et même une transformation de l'influence incrustante en action corrosive.

Les carbonates alcalins et l'oxyde de baryum conviennent parfaitement pour corriger les eaux incrusto-corrosives, car ils sont efficaces non seulement contre les formations incrustantes, mais encore contre l'influence corrosive des eaux. T. P.

Essais d'un turbo-alternateur de 500 kilowatts de la station de Cambridge. *Electrical Review*, t. XLVI, p. 60, 12 janvier 1899.

La puissance de l'usine de Cambridge étant devenue insuffisante, des soumissions furent de-

Digitized by Google

mandées pour l'installation d'un nouveau groupe générateur de 500 kilowatts. Cinq projets furent déposés ; quatre d'entre eux exigeaient une dépense d'installation de 102 500 fr à 125 250 fr non compris les condenseurs ; le cinquième, présenté par MM. Parsons, proposait l'emploi d'une turbine à vapeur directement accouplée à un alternateur et prévoyait une dépense totale de 122 100 fr, y compris les appareils de condensation. Les frais d'installation de ces appareils étant évalués à 25 000 fr, le projet de MM. Parsons se trouvait être le moins coûteux ; de plus le faible encombrement du turbo-alternateur permettait l'installation de deux groupes semblables dans l'emplacement disponible ; enfin la dépense de vapeur par kilowatt-heure garantie par MM. Parsons (12,3 kg à pleine charge et 13,7 kg à demi-charge) était légèrement inférieure à celle garantie par les quatre autres concurrents. Pour ces raisons le projet Parsons fut adopté.

Le groupe est actuellement monté ; un second tout semblable est en construction. La vitesse angulaire de la turbine à vapeur est de 2 700 t : m ; elle est régularisée par un régulateur électrique. Sur l'arbre de la turbine est montée l'armature de l'alternateur ; celui-ci est à quatre pôles ; la fréquence du courant qu'il fournit est donc 90 ; la tension de courant est 2 000 volts. L'alternateur fonctionne en parallèle avec les autres alternateurs de la station. Sur le prolongement de l'arbre principal est montée une excitatrice de 5 kilowatts : la puissance dépensée pour l'excitation de l'alternateur à pleine charge n'est d'ailleurs que de 3,5 kilowatts soit 0,7 p. 100 de la puissance engendrée.

Avant d'être livré le turbo-moteur a été essayé en octobre dernier dans les ateliers des constructeurs. Voici les résultats de ces essais, dont la durée a été de quatre heures :

Pression dans la chaudière (en kg : cm²) . . .	8,9	9,7	10,1	9,8
Vide (en cm de mercure. . . .	61,8	61,9	64,1	66,6
Eau par heure (en kg)	6 083	5 554	3 192	1 897
Puissance (en kw)	598	526,4	236,1	124
Eau par kw-h (en kg)	10,17	10,74	12,38	15,20
Puissance d'excitation en kw) .	3,5	3,3	3,1	3,0

On voit que la consommation de vapeur par kilowatt-heure à pleine charge et à demi-charge est inférieure à celle garantie par contrat et encore les essais ont été faits avec un condenseur qui n'était pas celui construit spécialement pour le groupe générateur, ce dernier condenseur étant en montage à Cambridge au moment des essais.

J. R.

DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ

Sur la mise à la terre des circuits secondaires et les risques d'incendie, par **T. Hutchinson.** *Transactions of the A. I. E. E.* t. XVI, nos 8 et 9, p. 427-450. — (Communication faite à la 16e réunion générale de l'American Institute of Electrical Engineers, à Boston, le 27 juin 1899.)

Les compagnies d'assurances américaines refusent d'autoriser la mise à la terre d'aucune partie d'un circuit de distribution. La communication que nous allons analyser et la discussion importante qui l'a suivie ont eu pour résultat un vote par lequel l'A. I. E. E. indiquait qu'il était favorable à la mise à la terre d'un conducteur de tous les systèmes de distribution à bas potentiel.

Depuis peu de temps les distributions par courants alternatifs à haute tension se développent considérablement. Dans de telles distributions, les circuits secondaires sont directement exposés à l'application accidentelle de la haute tension, sous l'influence d'une rupture quelconque d'isolant.

A ce point de vue, que la distribution à basse tension se fasse par courants alternatifs proprement dits ou par courants redressés, il n'y a jamais qu'un seul degré d'isolement entre le circuit primaire et le circuit secondaire des transformateurs statiques ou rotatifs : le danger est donc le même pour l'un ou l'autre système.

Tout circuit, aérien ou souterrain, portant des courants alternatifs, est un condensateur. En temps ordinaire, les capacités des deux fils d'une distribution sont égales et les potentiels correspondants sont égaux et de signes contraires par rapport à la terre. La déperdition par les isolateurs vers le sol tend à maintenir les potentiels de chacun des deux fils à une certaine valeur au-dessus et au-dessous de celui de la terre, mais elle n'affecte en rien la différence de potentiel entre les deux fils.

Le circuit primaire, en particulier, forme donc un condensateur : tout conducteur isolé,

Digitized by Google

en contact avec une des armatures de ce condensateur se charge au potentiel correspondant, et les forces électromotrices qui se trouvent dans ce conducteur s'ajoutent ou se retranchent à la différence de potentiel existant entre ce conducteur et le sol. Le courant de charge de ces condensateurs ne peut guère, pratiquement, être apprécié, la capacité étant très faible. Si donc un système secondaire est suffisamment bien isolé pour supporter la tension primaire, le courant de charge, en cas de contact entre le primaire et le secondaire, ne peut causer aucun risque d'incendie. Le risque ne se produira pas non plus si, l'isolant du secondaire étant insuffisant pour résister à la tension primaire, cet isolant se brise en un seul point et qu'il en résulte une mise à la terre franche, car aussitôt la tension du secondaire par rapport à la terre devient normale, aucun courant excessif ne passe et tout danger est écarté. Si au contraire, l'isolant du secondaire se brise en deux ou plusieurs points situés sur des conducteurs à potentiels différents, il se produit un court-circuit possédant une certaine résistance, et le courant qui passe dépend de la valeur de cette résistance. Ce courant anormal pourra donc causer des élévations locales de température et il y aura danger d'incendie. Ce dernier cas est d'ailleurs le plus probable.

Admettons maintenons qu'un des pôles du primaire soit à la terre. Si un contact se produit entre ce pôle et le secondaire, il n'y a rien à craindre ; si le contact a lieu entre le pôle isolé et le secondaire, la tension primaire va régner, avec sa pleine valeur, entre le secondaire et la terre et l'on se trouve ramené à l'un des cas précédents.

Les moyens de protection employés jusqu'ici pour mettre les circuits secondaires à l'abri des inconvénients d'un contact avec les circuits primaires rentrent dans 3 groupes :

1° Dispositifs pour mettre à la terre ou en court-circuit, ou pour couper le secondaire quand il est soumis à une tension anormale ;

2° Écrans métalliques reliés à la terre et interposés entre les bobines primaires et secondaires des transformateurs ;

3° Mise à la terre permanente du circuit secondaire.

Les appareils du premier groupe ont un inconvénient commun : ils ne préviennent pas l'application de la haute tension, il faut au contraire, pour qu'ils entrent en jeu, que cette application ait eu lieu.

L'écran n'est effectif que pour une rupture dans le transformateur sur lequel il est monté. Sous peine de constituer lui-même un danger d'incendie, il doit être assez important pour dissiper rapidement l'énergie du circuit primaire court-circuité. Enfin il a un effet nuisible au point de vue du réglage.

La troisième méthode est la seule qui soit sûre pour empêcher la tension du système secondaire de s'élever au-dessus du voltage normal du circuit. Malgré cet avantage primordial les compagnies d'assurances refusent d'adopter cette dernière solution. Elles lui reprochent cet inconvénient que c'est le voltage entier du circuit qui, alors, agit sur les isolants et non la moitié de ce voltage comme dans le système de l'isolement complet. Elles prétendent encore qu'il suffit d'une terre seulement pour qu'on ait à redouter des incendies et que la coexistence de deux terres sur les fils à potentiels opposés est moins probable que l'existence d'une seule terre sur la portion isolée d'un circuit dont l'autre pôle est à la terre. En tout cas cette méthode qui donne toute sécurité oblige à renforcer les isolants et peut causer quelques troubles dans la régulation.

Voici maintenant les idées principales qui ont été développées dans la discussion.

Le professeur Elihu Thomson et M. C.-M. Goddard approuvent l'initiative de M. Hutchinson.— M. Goddard fait cependant remarquer que la mise à la terre permanente pourrait offrir quelque danger dans des installations mixtes où les conducteurs électriques sont voisins des conduites de gaz.

Le professeur Goldsborough n'est pas partisan de la mise à la terre permanente, malgré l'avantage que présente cette manière de faire sur tous les autres moyens de protection. Il estime que cette pratique laisserait une échappatoire aux industriels qui font de mauvaises installations. Une installation, une fois terminée, devrait être soumise à un essai en semi court-circuit pendant quelques heures, c'est-à-dire à un essai de durée avec un courant dont la valeur serait 50 à 100 p. 100 plus grande que celle du courant normal, ensuite elle serait soumise à un essai d'isolement pour une tension de 50 à 100 p. 100

Digitized by Google

supérieure à celle du primaire. Cette pratique serait analogue aux épreuves des transformateurs. Elle aurait l'avantage d'augmenter les défauts, qui, dès lors, ne manqueraient pas de sauter aussitôt qu'on ferait un essai d'isolement à une tension double de la tension primaire. Les incendies résultent en effet de l'existence d'un point faible, et bien habile serait celui qui le découvrirait à simple vue, lors de la réception de l'installation. Il y a dans la question soulevée par M. Hutchinson un facteur important de convenances personnelles, et le professeur Goldsborough avoue que, dans une distribution sous 10 000 volts, il ne voudrait rien mettre à la terre, étant assuré que l'isolation totale lui donnerait les meilleures conditions de sécurité.

M. Steinmetz n'est pas complètement de l'avis de l'orateur précédent, au point de vue des épreuves. L'application de deux fois le courant normal, puis de deux fois la tension primaire lui paraît trop sévère pour les circuits secondaires. L'effet d'une rupture d'isolant entre les conducteurs n'est que de court-circuiter le secondaire et de faire sauter les plombs. Il est beaucoup plus important de chercher l'isolement par rapport à la terre : lorsqu'un des pôles du secondaire est relié à la terre, la chose peut être faite très rapidement, donc très souvent, de la manière suivante. On insère, entre le point neutre d'une distribution et la terre, la bobine à haute tension d'un petit transformateur d'essai dont le rapport de transformation est 1/10, et on relie les extrémités de la bobine à basse tension aux fils extrêmes du circuit secondaire de la distribution : ainsi le potentiel de ce système par rapport à la terre se trouve élevé à une valeur égale à dix fois la tension secondaire.

L'opinion générale semble être qu'au point de vue du danger d'incendie, il est préférable de mettre le secondaire à la terre ; au point de vue du danger de mort, la mise à la terre permanente et absolue du secondaire est la meilleure protection.

Le Dr Bell ne veut pas qu'on accorde un crédit trop grand aux essais sur les conditions initiales d'un réseau. Il est très bon de faire un essai au moment de la mise en service ; ceci permettra de se rendre compte si, ce jour-là, tout est bien, la mise à la terre donnant, par contre, toute sécurité dans l'avenir.

Pour le professeur Puffer la mise à la terre du point milieu du transformateur n'enlève tout danger que si on protège par des fusibles les conducteurs primaires. De plus, le fil neutre doit avoir une section suffisamment grande, pour que sa capacité en ampères dépasse celle de tout autre fil du transformateur.

Le professeur Puffer appelle l'attention de ses collègues sur ce fait qu'une distribution mise largement à la terre se comporte comme un système conducteur, par rapport aux systèmes étrangers, et peut, par exemple, servir de retour aux courants de tramways. Il voudrait voir étendue l'idée de la mise à la terre à un tel point, qu'on forçât la mise à la terre absolue, immédiatement à l'entrée des immeubles, de tout système conducteur, y compris les conduites de gaz et d'eau. Ceci éviterait des accidents tels que l'incendie qui se déclara un jour dans un immeuble où n'existait aucun fil électrique, sous l'influence d'un courant vagabond qui entrait par une conduite d'eau et sortait par une conduite de gaz.

Le professeur Goldsborough revient sur quelques unes des idées qu'il a émises au début de la discussion. Les gens vont, croit-il, être persuadés que si on leur conseille la mise à la terre, c'est que cela peut leur donner toute sécurité : ils vont alors être moins difficiles sur l'isolement. Toute terre devrait, de plus, être prise en dehors des immeubles ; elle devrait être bien faite et bien entretenue : les tuyaux d'eau et de gaz peuvent donner une solution très économique. J. G.

Théorie du facteur de puissance, par **A. Russell**. *The Electrician*, t. LXIV, p. 49 et 72, 3 et 10 novembre 1899.

Dans cette étude l'auteur se propose de rechercher mathématiquement comment varie le facteur de puissance d'un appareil ou d'un circuit avec la forme des courbes périodiques de la tension et du courant et avec leur position relative.

Une étude de ce genre dans un cas général serait impossible, c'est pourquoi l'auteur se contente d'un cas assez simple.

Le facteur de puissance d'un circuit est le rapport entre la puissance absorbée ou fournie par ce circuit à l'énergie apparente produit des volts par les ampères.

Mathématiquement ce rapport a donc pour

Digitized by Google

expression

$$\frac{\int_0^T eidt}{\left[\int_0^T e^2dt \int_0^T i^2dt\right]^{\frac{1}{2}}} \qquad (1)$$

M. Russell commence par démontrer ce théorème, d'ailleurs bien connu, que le facteur de puissance d'un circuit n'est égal à l'unité que si le rapport des valeurs instantanées de la tension aux bornes et du courant reste constant.

Pour le démontrer, l'auteur part de la définition de la valeur efficace d'une quantité alternative et pose :

$$\frac{1}{T}\int_0^T e^2dt = \sum_{n=\infty} \frac{e_1^2 + e_2^2 + \ldots e^2n}{n}.$$

L'expression du carré du facteur de puissance peut donc s'écrire

$$\frac{(e_1i_1 + e_2i_2 + \ldots e_n i_n)^2}{(e_1^2 + e_2^2 + \ldots + e_n^2)(i_1^2 + i_2^2 + \ldots + i_n^2)}.$$

En égalant cette quantité à l'unité on trouve

$$(e_1i_1 + e_2i_2 + \ldots)^2 - (e_1^2 + e_2^2 + \ldots)(i_1^2 + i_2^2 + \ldots) = 0$$

qu'on peut écrire

$$(e_1i_2 - e_2i_1)^2 + (e_1i_3 - e_3i_1)^2 + \ldots = 0$$

Tous les termes du premier membre étant positifs cette identité entraîne les suivantes :

$$e_1i_2 - e_2i_1 = 0,\ e_1i_3 - e_3i_2 = 0, \ldots \ldots$$

ou

$$\frac{e_1}{i_1} = \frac{e_2}{i_2} = \frac{e_3}{i_3} = = \ldots \frac{e_n}{i_n}$$

En définissant le facteur de puissance comme le cosinus d'un certain angle, on peut donner, dans quelques cas, une interprétation géométrique des résultats et permettre en même temps de déduire quelques relations algébriques et trigonométriques entre les différentes grandeurs considérées.

Fig. 1.

Prenons le cas d'un circuit composé d'une self-induction avec résistance CB (fig. 1), et de deux résistances sans induction BB_1, B_1B_2. Soit R_1 la résistance de BB_1 et R_2 la résistance B_1B_2. Si l'on désigne par e_1 et e' les valeurs instantanées de la différence de potentiel entre B_1 et C et entre B et C respectivement et par i celle du courant ; on a :

$$e' = e_1 - R_1i$$

D'où

$$e'^2 = e_1^2 + R_1^2i^2 - 2R_1e_1i.$$

et en sommant pendant une demi-période

$$V'^2 = V_1^2 + R_1^2I^2 - 2R_1W$$

V' et V_1 étant les valeurs efficaces de e' et e_1, I celle de i et W la puissance.

Si l'on pose :

$$\cos\varphi_1 = \frac{W}{V_1 I}$$

on pourra écrire :

$$V'^2 = V_1^2 + R_1^2I^2 - 2R_1V_1I\cos\varphi_1$$

Sous cette forme on voit que V', V_1 et R_1I sont les trois côtés d'un triangle CBB_1 dont l'angle CB_1B est égal à φ_1, le facteur de puissance du circuit CB_1 est le cosinus de cet angle.

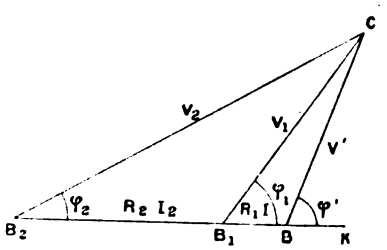


Fig. 2.

Prolongeons maintenant BB_1 en portant une longueur B_1B_2 égale à R_2I ; il est facile de montrer que le facteur de puissance du circuit CB_2 est le cosinus de l'angle CB_2B et que CB_2 est la différence de potentiel aux bornes de ce circuit ; soit V_2 cette tension et φ_2 l'angle CB_2B, nous aurons donc :

$$V_2 \sin\varphi_2 = V_1 \sin\varphi_1$$

expression qui interprétée géométriquement signifie que la réactance du circuit entre C et B_2 est la même que celle du circuit CB_1.

Désignons par φ' l'angle CBT, on a :

$$V_1\cos\varphi_1 - V'\cos\varphi' = R_1I$$

Digitized by Google

d'où

$$V_1 I \cos \varphi_1 - V' I \cos \varphi' = R_1 I^2$$

Comme $V_1 I \cos \varphi_1$ est la puissance consommée dans le circuit $B_1 C$ il en résulte donc que $V' I \cos \varphi'$ représente celle absorbée par le circuit CB et par suite que $\cos \varphi'$ est le facteur de puissance du circuit BC.

On peut regarder l'angle dont le cosinus est le facteur de puissance d'un circuit comme la différence de phase entre les courbes de la différence de potentiel et le courant. Plus généralement si e_1 et e_2 sont les valeurs instantanées de deux fonctions périodiques de même période, leur différence de phase est :

$$\cos \Phi = \frac{\int_0^T e_1 e_2 \, dt}{\left\{ \int_0^T e_1^2 dt \int_0^T e_2^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}} \qquad (2)$$

Cette expression justifie la règle du parallélogramme appliquée pour la détermination de la valeur efficace de la tension résultante des deux tensions e_1 et e_2.

Les différences de phase ainsi définies peuvent être très différentes des différences de phase prises dans le sens admis pour la loi sinusoïdale ; on sait en effet que la courbe du courant et de la tension peuvent avoir les mêmes zéros et atteindre leur valeur maxima au même instant sans pour cela que la différence de phase définie comme nous venons de le faire soit nulle. C'est le cas bien connu des courbes de l'arc à courant alternatif ; nous allons en voir d'autres exemples.

Exemples numériques. — Pour simplifier les calculs, nous supposerons que la courbe périodique du courant est une sinusoïde et nous calculerons les facteurs de puissance avec des courbes périodiques de la différence de potentiel de diverses formes pour lesquelles nous supposerons la valeur efficace être la même. La valeur absolue de la tension n'a du reste aucune influence sur le facteur de puissance qui dépend seulement de la forme de la courbe et de sa position par rapport à celle du courant.

Les expressions du courant sont donc :

$$i = I \sin \frac{2\pi}{T} t$$

sans décalage, et :

$$i = I \sin \left(\frac{2\pi}{T} t - \alpha \right)$$

avec décalage.

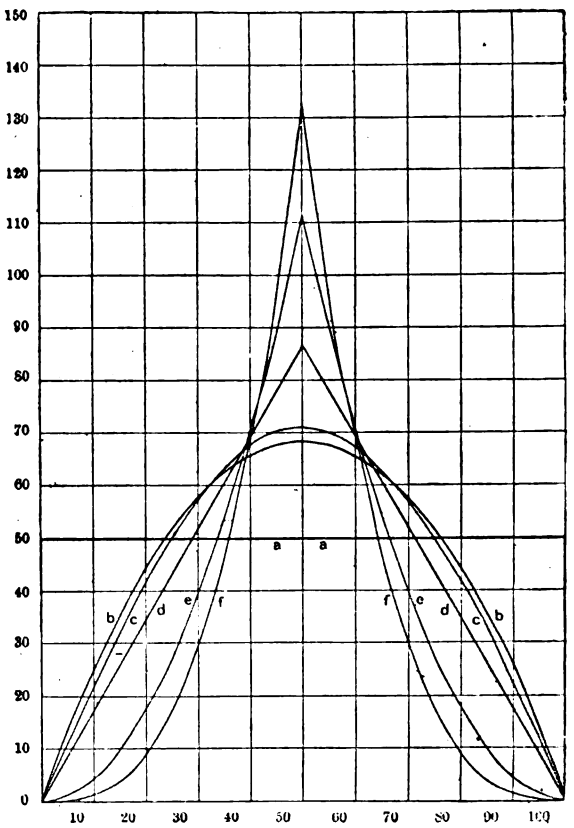


Fig. 3. — Courbes périodiques de formes diverses et de même valeur efficaces.

Celles de la tension seront (fig. 3) :

(*a*) forme rectangulaire :

$$e = V \text{ de } o \text{ à } \frac{T}{2}$$

$$e = -V \text{ de } \frac{T}{2} \text{ à } T.$$

(*b*) parabolique

$$e = \frac{4 V \sqrt{30}}{T^2} V \left(\frac{T}{2} t - t^2 \right) \text{de } o \text{ à } \frac{T}{2} \text{ etc.}$$

(*c*) sinusoïdale :

$$e = \sqrt{2} V \sin \frac{2\pi}{T} t$$

Digitized by Google

(*d*) triangulaire :

$$e = 4\sqrt{3}\,V\,\frac{t}{T} \text{ de o à } \frac{T}{4}$$

$$e = 4\sqrt{3}\,V\,\frac{\frac{T}{2}-t}{T} \text{ de } \frac{T}{4} \text{ à } \frac{3T}{4} \text{ etc.}$$

(*e*) parabolique inversée :

$$e = 16\sqrt{5}\,V\left(\frac{t}{T}\right)^2 \text{ de o à } \frac{T}{4}$$

$$e = 16\sqrt{5}\,V\left(\frac{\frac{T}{2}-t}{T}\right)^2 \text{ de } \frac{T}{4} \text{ à } \frac{T}{2} \text{ etc.}$$

(*f*) parabolique du troisième degré inversée :

$$e = 64\sqrt{7}\,V\left(\frac{t}{T}\right)^3 \text{ de o à } \frac{T}{4}$$

$$e = 64\sqrt{7}\,V\left(\frac{\frac{T}{2}-t}{T}\right)^3 \text{ de } \frac{T}{4} \text{ à } \frac{T}{2} \text{ etc.}$$

On en déduit le tableau ci-dessous.

On pourrait également supposer que le courant a une des formes considérées pour la tension ; en particulier si l'on prend les courbes (*a*) et (*f*) entre elles avec les mêmes zéros, la valeur du facteur de puissance est de 0,6613, ce qui

COURBES de la tension	VALEUR MAXIMA de la tension	ORDONNÉE DU CENTRE de gravité de l'aire d'une demipériode de la tension	FACTEUR de puissance (cos φ) avec I sin x	VALEUR DE φ en degrés	FACTEUR DE PUISSANCE avec I sin $(x-\alpha)$
(*a*)	V	0,5 V	0,9003	25,8	0,9003 cos α
(*b*)	1,370 V	0,5476 V	0,9995	2,2	0,9995 cos α
(*c*)	1,414 V	0,5552 V	1.	0	cos α
(*d*)	1,732 V	0,5773 V	0,9928	6,75	0,9928 cos α
(*e*)	2,236 V	0,6708 V	0,9322	21,2	0,9322 cos α
(*f*)	2,646 V	0,7560 V	0,8628	30,4	0,8628 cos α

correspond à un décalage apparent de 48°,6.

Pour ne pas confondre les différents décalages, décalage apparent et décalage des zéros, l'auteur propose de désigner sous le nom d'angle de retard ou d'avance, le déplacement entre les zéros des courbes.

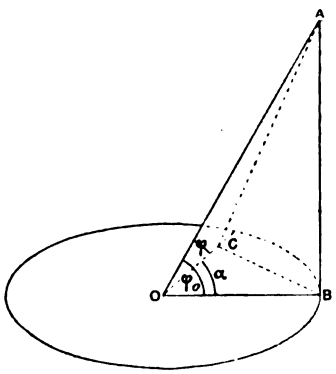


Fig. 4.

Il est intéressant de chercher une relation entre l'angle de la différence de phase et l'angle de retard. Si φ_0 est la différence de phase lorsque les zéros de la tension et du courant coïncident, la différence de phase φ correspondant à un angle de retard α est :

$$\cos\varphi = \cos\varphi_0 \cos\alpha. \qquad (3)$$

Si OAB et OBC (fig. 4) sont deux plans perpendiculaires et si les angles AOB, BOC sont respectivement égaux à φ_0 et α, l'angle AOC sera égal à φ. On a effet en menant BC perpendiculaire à OC et en joignant AC

$$\overline{OA}^2 = \overline{OB}^2 + \overline{AB}^2 = \overline{OC}^2 + \overline{CB}^2 + \overline{AB}^2 = \overline{OC}^2 + \overline{AC}^2;$$

l'angle OCA est donc droit et l'on a

$$OC = OA \cos AOC.$$

Comme d'autre part on a aussi :

$$OC = OB \cos\alpha = OA \cos\varphi_0 \cos\alpha,$$

il en résulte que :

$$\cos AOC = \cos\varphi_0 \cos\alpha.$$

On voit facilement comment φ varie avec α pour deux courbes données, c'est-à-dire φ_0 connu.

La formule (3) vraie lorsque le courant suit la loi sinusoïdale et la tension une loi périodique quelconque et symétrique par rapport à son ordonnée maxima est facile à établir.

Pour le montrer désignons par :

$$e = f(t) \qquad (1)$$

Digitized by Google

l'équation de la courbe périodique de la différence de potentiel. Comme la courbe est symétrique, on a :

$$f(t) = f\left(\frac{T}{2} - t\right) \qquad (5)$$

D'autre part la valeur de la puissance moyenne est au facteur $\frac{2}{T}$ près :

$$\int_0^{\frac{T}{2}} f(t) \sin\left(\frac{2\pi}{T} - \alpha\right) dt = \cos\alpha \int_0^{\frac{T}{2}} f(t) \sin\frac{2\pi t}{T}\, dt - \sin\alpha \int_0^{\frac{T}{2}} f(t) \cos\frac{2\pi t}{T}\, dt. \qquad (6)$$

Or la seconde intégrale du second membre est nulle. Changeons-y en effet t en $\frac{T}{2} - x$, nous aurons

$$\int_0^{\frac{T}{2}} f(t) \cos\frac{2\pi t}{T}\, dt = +\int_{\frac{T}{2}}^{0} f\left(\frac{T}{2} - x\right) \cos\frac{2\pi x}{T}\, dx = -\int_0^{\frac{T}{2}} f(x) \cos\frac{2\pi x}{T}\, dx = -\int_0^{\frac{T}{2}} f(t) \cos\frac{2\pi t}{T}\, dt$$

ou enfin

$$2\int_0^{\frac{T}{2}} f(t) \cos\frac{2\pi t}{T}\, dt = 0$$

L'équation (6) se réduit donc après calculs faits à

$$\cos\varphi = \cos\alpha . \cos\varphi_0$$

En pratique les courbes périodiques de la tension et du courant ne sont pas toujours toutes deux symétriques. On peut facilement montrer que si le courant suit la loi sinusoïdale et s'il n'y a aucun angle de retard entre les zéros du courant et de la tension, le facteur de puissance est maximum lorsque le sommet de la courbe correspond au quart de la période, toutes les courbes considérées ayant naturellement à la fois même valeur efficace et même valeur maxima et par suite aussi même surface.

Si la courbe du courant est en retard sur celle de la différence de potentiel et si cette dernière atteint son maximum avant le quart de la période, on peut voir facilement en construisant les courbes que le facteur de puissance est plus petit que si la courbe de la tension était symétrique. La valeur maxima du facteur de puissance dans ce cas est atteinte lorsque le sommet de la courbe de la différence de potentiel est dans le second quart de la période. Il peut également arriver que les courbes aient plusieurs valeurs maxima et minima dans chaque demi-période. Considérons par exemple le cas de la figure 5

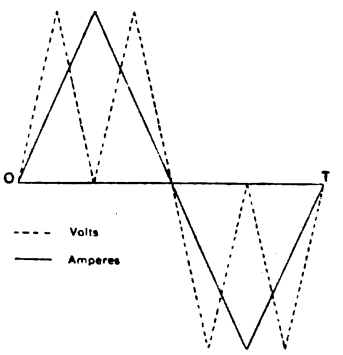


Fig. 5.

où la tension s'annule tous les quarts de période. Dans ce cas le facteur de puissance est de 0,75 et la différence de phase 41,°4.

Il est évident enfin que si la différence de potentiel a une valeur minima lorsque le courant a sa valeur maxima, le facteur de puissance sera plus petit et la différence de phase plus grande, même s'il n'y a aucun décalage entre les zéros du courant et de la tension.

J. R.

Courant produit dans un circuit inducteur par une différence de potentiel de forme périodique parobolique, par **A. Russell**. *The Electrical Review*, t. XLV, p. 744, 10 novembre 1899.

La résolution du problème consistant à trouver la valeur de la résistance apparente d'un circuit inducteur lorsqu'on connaît la forme de la courbe périodique de la différence de potentiel aux bornes présente toujours quelques difficultés. Un cas assez simple et d'un certain intérêt est celui où la forme périodique de la tension aux bornes est parabolique ; dans ce cas, en effet, les résultats sont très sensiblement les mêmes qu'avec la loi sinusoïdale.

Considérons avec M. Russell un circuit dont la résistance ohmique est R et le coefficient de self-induction L. Soit U la différence de poten-

Digitized by Google

tiel efficace maintenue aux bornes du circuit dans les deux cas.

Si la différence de potentiel est sinusoïdale on a pour sa valeur instantanée

$$u = U\sqrt{2}\sin\frac{2\pi t}{T}; \qquad (1)$$

si elle est parabolique on trouve facilement que sa valeur instantanée a pour expression

$$u = 4U\sqrt{30}\left(\frac{t}{2T} - \frac{t^2}{T^2}\right), \qquad (2)$$

où t varie de o à $\frac{T}{2}$.

Les expressions du courant dans le circuit inductif sont :

1° Pour la différence de potentiel sinusoïdale

$$i = \frac{U\sqrt{2}\sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \alpha\right)}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L^2}}, \qquad (3)$$

avec

$$\operatorname{tang}\alpha = \frac{2\pi}{T}\cdot\frac{L}{R};$$

2° Pour la différence de potentiel parabolique

$$i = \frac{K}{R}\left(\frac{Tt}{2} - t^2\right) - \frac{KL}{R^2}\left(\frac{T}{2} - 2t\right) - \frac{2KL^2}{R^3} + Be^{-\frac{R}{L}t} \qquad (4)$$

avec

$$K = \frac{4U\sqrt{30}}{T^2},$$

$$B = \frac{4KL^2}{R^3\left(1 + e^{-\frac{R}{L}\cdot\frac{T}{2}}\right)}$$

Supposons qu'il s'agisse d'une bobine de self-induction pour laquelle R est négligeable, on a alors pour les deux cas :

$$i = \frac{U\sqrt{2}\cos\frac{2\pi}{T}t}{\frac{2\pi}{T}L} \qquad (5)$$

et :

$$i = \frac{UT\sqrt{30}}{2L}\left[\frac{1}{12} + \frac{1}{3}\left(\frac{2t}{T}\right)^3 - \frac{1}{2}\left(\frac{2t}{T}\right)^2\right] \qquad (6)$$

Les courbes représentées sur la figure sont celles des équations (1), (2), (5) et (6).

On déduit de ces équations pour les valeurs de la résistance apparente :

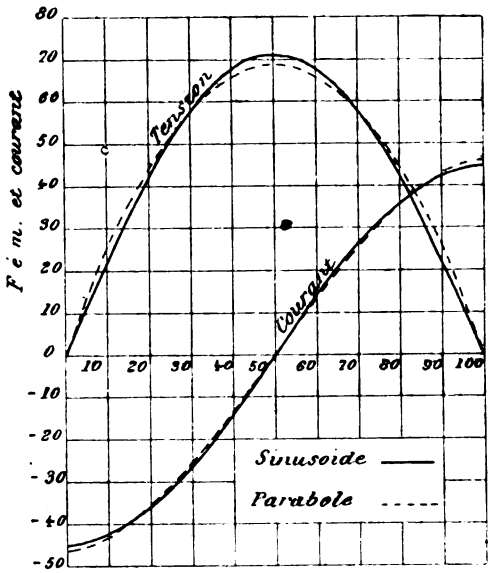


Fig. 1.

1° Dans le cas de la sinusoïdale

$$\sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L^2}$$

2° Dans le second cas :

$$R\left[1 - 40\left(\frac{L}{RT}\right)^2 + 1{,}92\left(\frac{L}{RT}\right)^4 - 7{,}68\left(\frac{L}{RT}\right)^5 \frac{e^{\frac{RT}{2L}} - 1}{e^{\frac{RT}{2L}} + 1}\right]^{-\frac{1}{2}}$$

Ces expressions paraissent assez différentes à première vue, mais si l'on suppose que $\frac{2L}{T}$ est plus grand que R on peut écrire la première sous la forme:

$$\frac{L}{T}\left[0{,}02533 - 0{,}000\,6416\left(\frac{RT}{L}\right)^2 + \ldots\right]^{-\frac{1}{2}}$$

et la seconde :

$$\frac{L}{T}\left[\frac{17}{672} - \frac{31}{48.334}\left(\frac{RT}{L}\right)^2 + \ldots\right]^{-\frac{1}{2}}$$

ou :

$$\frac{L}{T}\left[0{,}02530 - 0{,}000\,6407\left(\frac{RT}{L}\right)^2 + \ldots\right]^{-\frac{1}{2}}$$

Digitized by Google

Les valeurs des courants sont donc :

$$0{,}15915\,\frac{UT}{L}$$
$$0{,}15915\,\frac{UT}{L}.$$

En appliquant les mêmes idées au calcul des cas d'un circuit contenant un condensateur de capacité C, on trouverait pour les valeurs du courant dans les deux cas :

$$6{,}283\,\frac{UC}{T}$$
$$6{,}324\,\frac{UC}{T}$$

Les facteurs de puissances dans le cas d'un circuit inductif dont la résistance n'est pas négligeable sont :

$$\frac{R}{\sqrt{R^2+\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L^2}}$$

et

$$1-\left[40\left(\frac{L}{RT}\right)^2+1{,}92\left(\frac{L}{RT}\right)-7{,}68\left(\frac{L}{RT}\right)^5\frac{e^{\frac{RT}{2L}}-1}{e^{\frac{RT}{2L}}+1}\right]^{\frac{1}{2}}$$

Si la bobine de self-induction n'a aucune perte par hystérésis ni courants de Foucault, quelle que soit la forme périodique de la tension la réactance ou inductance a pour expression :

$$\sqrt{R^2_{app}-R^2}$$

R_{app} étant l'impédance.

Il est intéressant de montrer que l'impédance pour une courbe périodique sinusoïdale est plus petite que l'impédance pour une courbe périodique parabolique.

On peut, en effet, établir facilement avec une série de Fourier que l'impédance correspondant à la courbe périodique parabolique est donnée par :

$$\frac{1}{R^2_{app}}=\frac{960}{\pi^2}\left[\frac{1}{R^2+\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L^2}+\frac{1}{3^6}\,\frac{1}{R^2+3^2\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L^2}+\frac{1}{5^6}\,\frac{1}{R^2+5^2\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L^2}+\cdots\right]$$

On a donc :

$$\frac{1}{R^2_{app}}<\frac{960}{\pi^2\left[R^2+\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L^2\right]}\left[1+\frac{1}{3^6}+\frac{1}{5^6}+\cdots\right]$$

Mais la série entre crochets a pour valeur $\frac{\pi_2}{960}$, on a donc :

$$\frac{1}{R^2_{app}}<\frac{1}{R^2+\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L^2}$$

ou

$$R_{app}>\sqrt{R^2+\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L^2}$$

On peut également remarquer que le rapport des courants résultant de tensions d'alimentation sinusoïdale et parabolique augmente avec le rapport $\frac{L}{R}$; il est égal à l'unité pour L = o et à 1,0005 pour R = o.

En résumé on déduit de ce qui précède :

1° Qu'à égalité de valeur efficace la courbe périodique parabolique est plus aplatie que la courbe sinusoïdale, la différence des amplitudes est de 3 p. 100 ;

2° Le rapport des aires de la parabole à la sinusoïde est 1,014 ; ce rapport est également celui des amplitudes maxima des courants dans une bobine de self-induction ;

3° Sur résistances non inductives les courants efficaces produits sont égaux, sur résistances inductives celui produit par la sinusoïde est un peu plus grand ; sur une capacité c'est la forme parabolique qui donne le plus grand courant efficace ;

4° Le facteur de puissance est toujours plus grand avec une tension sinusoïdale qu'avec une tension parabolique, l'impédance et la résistance sont au contraire plus grandes dans ce dernier cas que dans le premier ;

5° L'impédance avec une tension parabolique n'est pas de la forme $\sqrt{R^2+q^2L^2}$ où q est une fonction de la fréquence. Dans ce cas l'angle dont le cosinus est égal au facteur de puissance n'est pas en général l'angle de retard entre les zéros de courbes de la tension et du courant.

C. F. G.

Dispositif de mise hors-circuit des transformateurs à vide, par **E.-B. Muller**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 687, 28 septembre 1899.

Dans toute installation de courants alternatifs

Digitized by Google

à haute tension, la perte annuelle résultant du courant magnétisant des transformateurs à vide est assez importante. L'*Elektrotechnische Zeitung* a indiqué récemment un dispositif permettant la mise hors-circuit d'un transformateur marchant à vide sans qu'il soit nécessaire d'agir sur aucun organe spécial.

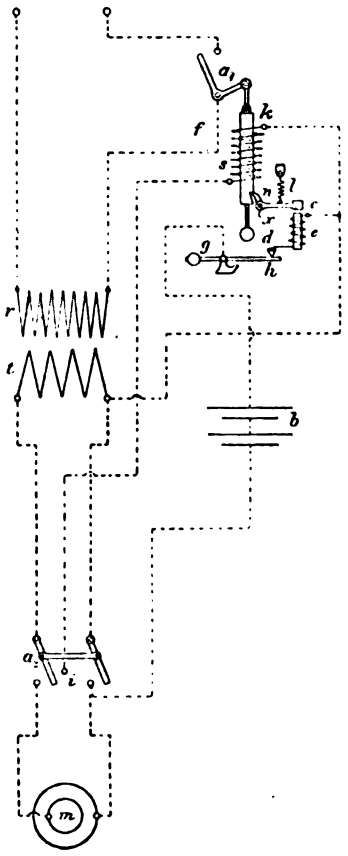


Fig. 1. — Schéma d'un dispositif de mise hors-circuit d'un transformateur à vide.

La figure donne le schéma de l'appareil : r, est le primaire du transformateur ; t, le secondaire ; a_1, a_2, les interrupteurs à haute et basse tension ; m, l'appareil d'utilisation fonctionnant d'une façon intermittente ; f, la commande à distance ; b, une source auxiliaire (piles sèches par exemple).

Quand on ferme l'interrupteur a_2, le courant de b traverse le levier h et passe par le contact d dans la bobine e. L'armature c attirée pivote autour de l'axe x et dégage le taquet n. Le noyau du solénoïde k tombe alors par son poids, interrompt le courant auxiliaire et ferme l'interrupteur à haute tension.

Quand on ouvre l'interrupteur a_2, la manette de cet interrupteur touche le contact auxiliaire i et envoie le courant alternatif dans le solénoïde s. Le noyau k fortement soulevé ouvre a_1. Le levier h tourne sous l'action du contrepoids g, sans pour cela fermer le courant auxiliaire, car celui-ci se trouve interrompu en a_2. Le taquet n pénètre dans son encoche et assure la position du noyau R.

Il est facile d'estimer l'économie annuelle réalisée par cet appareil. Pour un transformateur de 50 kilowatts la puissance absorbée par le courant magnétisant est de 1,5 p. 100, soit 750 watts. Si nous admettons 10 heures de marche par jour et 300 jours de travail par an, nous obtenons une perte annuelle de 4 320 kilowatts-heure. En évaluant seulement à 10 centimes le prix de revient du kilowatt-heure nous trouvons une perte brute de 432 fr. On voit par là tout l'intérêt qui s'attache aux dispositifs de ce genre. E. B.

ÉLECTROCHIMIE

Électrolyseur J.-A. Rhodin pour sulfates alcalins. Brevet anglais, n° 11 422, déposé le 1er juin 1899, accepté le 9 juillet 1899.

Cet électrolyseur a pour but la production de soude caustique et celle d'un sulfate dont on puisse, par une opération subséquente, retirer le métal et l'acide sulfurique. De la sorte les éléments du sulfate alcalin et de l'eau qui le dissout se retrouvent tous à l'exception de l'hydrogène de l'eau.

Pour cela l'électrolyseur est divisé par une membrane poreuse en deux compartiments. Le compartiment cathodique contient de l'eau et du mercure lequel sert de cathode et forme avec le métal alcalin un amalgame que l'eau décompose au fur et à mesure de sa formation en donnant de la soude qui reste en dissolution et de l'hydrogène qui se dégage. Le compartiment anodique contient une dissolution du sulfate alcalin (neutre ou acide) et une anode en métal attaquable, le cuivre par exemple, qui donne une solution de sulfate de cuivre laquelle, par une nouvelle électrolyse, pourra donner du cuivre et de l'acide sulfurique.

Les figures 1 et 2 donnent une coupe verticale, une demi-coupe horizontale par le plan A et une demi-vue en plan. Le compartiment cathodique est formé par une cuve circulaire a dont

Digitized by Google

le fond garni de languettes saillantes *b* inclinées par rapport aux rayons, est recouvert d'une couche de mercure où plonge le conducteur négatif *l*. Le compartiment anodique est cons-

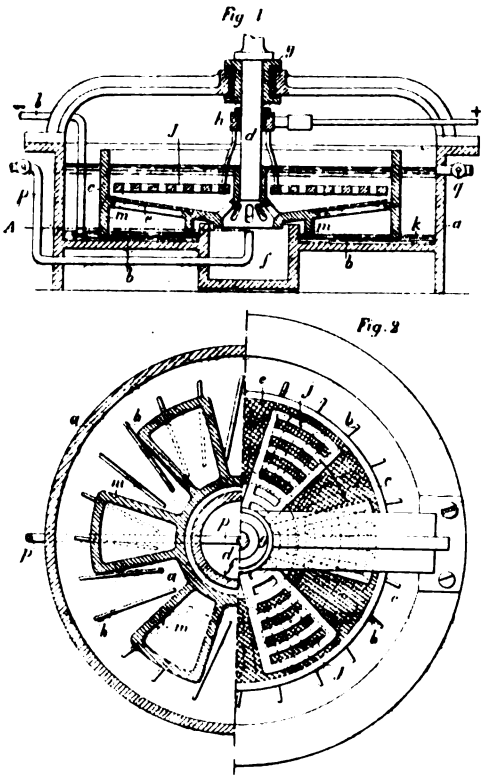


Fig. 1 et 2.

titué par une cuve circulaire de plus petit rayon *c*; son fond est formé de plaques poreuses *e* maintenues par des traverses *m*; cette cuve est soutenue et mise en rotation par l'arbre vertical *d* qui passe dans un collier *g* isolé de l'étrier soutenant celui-ci; sur l'arbre est une bague isolée *h* sur laquelle frotte un balai relié au conducteur positif et qui soutient un plancher *j* où l'on met des lingots de cuivre.

Au début de l'opération le compartiment cathodique contient de l'eau, le compartiment anodique la solution de sulfate alcalin. Quand le courant passe, le mercure se charge du métal alcalin, et forme un amalgame alcalin; celui-ci, plus léger que le mercure, est entraîné par la force centrifuge dans la région *k* où l'hydrogène provenant de sa décomposition par l'eau s'échappe facilement par l'espace annulaire compris entre les cuves; le mercure au contraire est constamment ramené vers le centre de l'électrolyseur où s'effectue la dissolution du sodium; les languettes saillantes *b* dirigent ce mouvement du mercure et de l'amalgame. Quand, après quelque temps de fonctionnement de l'appareil, l'eau du compartiment cathodique est suffisamment chargée en soude et la solution du compartiment anodique suffisamment chargée en sulfate de cuivre, on évacue ces solutions par les conduites *p* et *q*; en réglant convenablement l'intensité du courant on peut d'ailleurs rendre l'opération continue. De temps en temps on soulève la cuve centrale et on recueille les boues qui se sont rassemblées en *f* et qui contiennent généralement des métaux précieux lorsqu'on emploie comme anodes des lingots de cuivre brut.

Ozoneur R.-J. Yarnold. Brevet anglais, n° 2629, déposé le 24 juin 1899, accepté le 2 septembre 1899.

Cet appareil est constitué par une série de cylindres diélectriques *a* laissant entre eux des canaux *b* dans lesquels circule l'air ou l'oxygène à ozoner et par deux électrodes *c* et *d* respectivement reliées, au moyen des bornes *e* et *f*, aux deux pôles d'une source de courant pulsa-

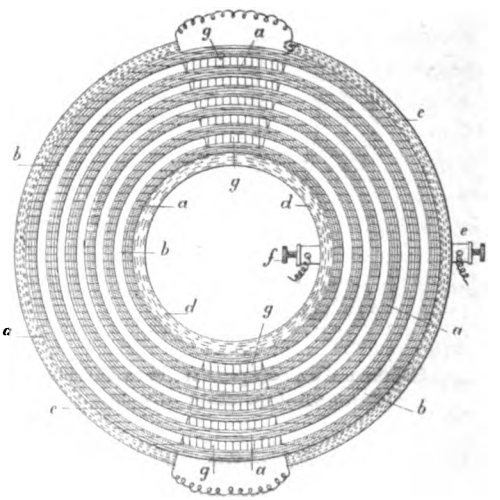


Fig. 1.

toire à haut potentiel; les lames diélectriques sont maintenues écartées les unes des autres par une matière isolante *g*. L'emploi de plusieurs lames diélectriques aurait pour effet, suivant l'inventeur, « de produire des décharges électriques d'induction de haut potentiel uniformes ».

D'ailleurs M. Yarnold n'entend pas limiter à la production de l'ozone l'application de cet appareil, car il dénomme celui-ci « appareil pour

Digitized by Google

l'électrolyse et le traitement électrique des gaz et des mélanges ou composés gazeux », et parmi ses applications il revendique « la production de changements d'état moléculaire de gaz ou mélanges gazeux, tels que l'hydrogène, l'oxygène, le gaz carbonique, l'air atmosphérique, le chlore, etc., ainsi que l'électrolyse de composés gazeux tels que l'acide chlorhydrique, le gaz de houille, les hydrocarbures, etc. », sans compter d'autres applications aussi fantaisistes, pour le moment du moins, que la plupart des précédentes.

Influence de la pulvérisation des matières premières sur la production du carbure de calcium, par **B. Carlson**. *Zeitschrift für Electrochemie*, t. VI, p. 324, 7 décembre 1899.

L'auteur examine l'influence de la pulvérisation des matières premières sur la production du carbure de calcium.

La plupart des usines de fabrication de carbure emploient le mélange chaux et charbon très finement pulvérisé. C'est là, d'après l'auteur, une pratique à abandonner, car non seulement elle exige un traitement supplémentaire spécial, mais aussi elle est cause de graves inconvénients dans la fabrication même, inconvénients qui ne se présentent pas avec des matières premières en gros grains.

Il est évident d'abord que la grosseur des matières premières et leur mélange plus ou moins intime sont sans influence sur la quantité de chaleur nécessaire, quantité qui comprend d'une part la chaleur nécessaire à l'échauffement et à la fusion des matières, d'autre part la quantité de chaleur nécessaire à la réaction chimique.

Au point de vue de la réaction chimique, le mélange intime des matières finement pulvérisées ne serait utile que dans les conditions suivantes :

1° Si la température de formation du carbure était difficilement atteinte au four électrique ;

2° Si aucune des matières premières, chaux ou charbon n'était liquide à la température du four et que cette fluidité soit nécessaire à la réaction ;

3° S'il ne se formait aucun produit liquide capable de dissoudre la chaux et le charbon.

Or la température de formation du carbure se trouve bien au-dessous de la température de l'arc ; la chaux a son point de fusion également très au-dessous de cette température et de plus le carbure de calcium formé est capable de dissoudre la chaux et le charbon.

De sorte que dans le four électrique le processus de la formation du carbure est le suivant : la chaux fond d'abord et dans ce bain de chaux se dissout le charbon sous forme d'oxyde de carbone et de carbure de calcium.

A ce point de vue donc, l'emploi de matières premières grossièrement concassées offre sur le mélange intime de matières fines l'avantage d'une grande économie sur les frais de concassage et de mélange.

Mais l'auteur démontre qu'il y a plus et que dans le premier cas la marche de l'opération et le rendement sont bien meilleurs que dans le second. Lorsqu'en effet on emploie le mélange finement pulvérisé, l'oxyde de carbone formé ne trouvant pas d'orifice de dégagement forme tout autour de l'arc une caverne dont les parois sont constituées par une croûte de carbure de calcium qui forme vernis d'une certaine solidité ; de nouvelles quantités d'oxyde de carbone se formant, la pression intérieure augmente jusqu'au moment où la croûte ne pouvant plus résister, il se produit une rupture explosive, et le gaz s'échappant violemment par les canaux ainsi produits entraîne avec lui une assez forte proportion de matières pulvérisées.

En plus de cette perte de matière, il y a également perte de chaleur, car dans ces conditions l'oxyde de carbone étant resté quelque temps dans la région de l'arc puis s'en échappant rapidement, sort du four à une température voisine de celle de l'arc. Comme les matières retombent peu à peu, les canaux formés finissent par se boucher et le même phénomène recommence périodiquement.

Après une explosion, la matière qui tombe dans la zone de l'arc est relativement froide, ce qui crée une variation de résistance de l'arc et par suite une intensité de courant également variable qui oblige à prendre des machines plus puissantes qu'il ne serait nécessaire.

Dans certaines usines où on travaille le mélange finement pulvérisé on atténue ces inconvénients en piquant la masse avec des baguettes de bois, ce qui est un travail très difficile.

Tous ces inconvénients sont évités par l'emploi des matières premières introduites en morceaux de la grosseur d'une noisette. Le gaz, libre

Digitized by Google

de s'échapper au fur et à mesure de sa formation passe dans les intervalles et sortant à faible vitesse n'a plus que 1 000° à 1 100° C. (mesurés directement) à la sortie du four. Comme la température du carbure atteint 3 000 à 4 000° C., le gaz apporte donc aux matières premières une quantité de chaleur considérable, de sorte que quand celles-ci pénètrent dans la zone de formation du carbure elles sont très chaudes et débarrassées d'acide carbonique et d'eau. L'intensité reste constante pendant l'opération et on évite les poussières dangereuses pour les ouvriers. Dans ces conditions on remarque à peine qu'un four est en activité, celle-ci ne se révèle que par un léger bourdonnement.

Un autre inconvénient de l'emploi du mélange de matières finement pulvérisées, c'est que pendant la fusion les particules de charbon se séparent de la chaux et étant plus légères sont entraînées par les gaz de préférence à la chaux ; ces particules de charbon viennent brûler dans l'air à la sortie du four. Il en résulte que pour compenser ces pertes on doit joindre au mélange plus de charbon qu'il n'est nécessaire et que de plus, dans le cas d'une marche intermittente, on doit faire chaque fois l'analyse des résidus pour pouvoir les réemployer.

Landin et Rudolphs ont évité ces inconvénients en faisant des briquettes du mélange finement pulvérisé.

Le même résultat peut être atteint simplement en employant les matières premières plus grossières ; il n'y a pas alors séparation du charbon et les résidus peuvent être refondus tels que. La quantité de matières employée est calculée d'après l'équation

$$CaO + 3C = CaC^2 + CO$$

ce qui correspond à une consommation de 1 440 kg de matières par tonne de carbure produit. Or en employant les matières grossières la « Deutsche Gold und Silber Scheide-Anstalt » de Francfort obtient une consommation réelle de 1 590 kg alors que dans les autres fabriques où on traite le mélange finement pulvérisé, on atteint des consommations de 3 000 kg et plus.

Cette usine de Francfort est la première qui ait adopté cette façon de procéder dont les avantages avaient été déjà indiqués par G. Pfleger.

L. J.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 5 janvier 1900.

Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1900, par **Th. Moureaux**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 65.

« Les observations magnétiques, dans les observatoires du Parc Saint-Maur, de Perpignan et de Nice, sont poursuivies régulièrement et sans lacunes. Les trois stations sont pourvues d'appareils identiques ; un magnétographe de M. Mascart, et des boussoles de Brunner pour la mesure absolue de la déclinaison, de l'inclinaison et de la composante horizontale. Les courbes de variations, dont les repères sont fréquemment vérifiés, sont dépouillées pour chaque heure du jour.

» Les valeurs des éléments magnétiques au 1er janvier 1900 sont déduites de toutes les valeurs horaires relevées le 31 décembre 1899 et le 1er janvier 1900, rapportées à des mesures absolues faites au Parc Saint-Maur les 29, 30 décembre, 2 et 3 janvier, à Perpignan les 27 et 30 décembre, à Nice les 30 et 31 décembre.

» Comme les années précédentes, les observations magnétiques de Perpignan sont faites par M. Cœurdevache, sous la direction de M. le Dr Fines, et celles de Nice par M. Auvergnon.

Valeurs absolues des éléments magnétiques au 1er janvier 1900.

	Parc St-Maur.	Perpignan.	Nice.
Longitude E	0° 9′23″	0°32′45″	4°57′48″
Latitude N.	48°48′34″	42°42′ 8″	44°43′17′′
Déclinaison occidentale.	14°47′,56	13°40′,25	12° 1′,86
Inclinaison	64°55′, 2	59°59′, 5	60°10′, 4
Composante horizontale.	0,19711	0,22421	0,22416
Composante verticale. .	0,42117	0,38821	0,39099
Composante nord . . .	0 19058	0,21786	0,21924
Composante ouest . . .	0,05033	0,05299	0,04672
Force totale.	0,46501	0.44831	0.45069

Digitized by Google

» La variation séculaire des différents éléments résulte de la comparaison entre les valeurs actuelles et celles qui ont été données pour le 1er janvier 1899 (1).

Variation séculaire des éléments magnétiques en 1899.

	Parc Saint-Maur.	Perpignan.	Nice.
Déclinaison	—3',89	—4',83	—4',28
Inclinaison	—2',3	—1',4	—2',5
Composante horizontale	+0,00029	+0,00018	+0,00051
Composante verticale	—0,00010	—0,00005	+0,00024
Composante nord .	+0,00034	+0,00025	+0,00056
Composante ouest.	—0,00014	—0,00026	—0,00017
Force totale. . . .	+0,00003	+0,00005	+0,00046

Action du champ magnétique sur les rayons de Becquerel. Rayons déviés et rayons non déviés, par **P. Curie**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 73-76.

L'auteur a étudié cette action (2) en employant une méthode permettant de faire des mesures quantitatives.

Le corps radio-actif est placé sur une plaque de plomb horizontale sur laquelle sont disposées deux autres plaques verticales parallèles et peu distantes. Dans le prolongement des deux faces en regard de ces lames sont les armatures verticales d'un condensateur; l'une des armatures est maintenue au potentiel de 500 volts au moyen d'une pile; l'autre est reliée à un électromètre et à un quartz piézoélectrique. Un puissant électro-aimant dont les pièces polaires comprennent les deux plaques verticales permet de produire un champ magnétique. Le rayonnement de la substance, limité par les deux plaques de plomb verticales, passe entre les armatures et provoque un courant entre celles-ci en rendant l'air conducteur. Lorsque le rayonnement est dévié par le champ magnétique, les rayons déviés sont absorbés par les masses de plomb et le passage de l'électricité se trouve annulé ou diminué.

Les résultats obtenus avec des substances radifères dépendent essentiellement de la distance du corps radiant à l'entrée du condensateur. Si cette distance est assez grande (supérieure à 7 cm) tous les rayons qui devraient arriver au condensateur sont déviés et supprimés par un champ de 2 500 unités. Si la distance est suffisamment faible (inférieure à 6,5 cm) une partie seulement des rayons est déviée et la pro-

(1) *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 94, 1899. *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 118, 21 janvier 1899.

(2) La déviation des rayons Becquerel par le champ magnétique a été constatée d'une façon indépendante et à peu de temps d'intervalle par M. Giesel (*Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 834-837), par MM. Meyer et V. Schweidler (*Acad. Vienne*, 3 et 9 novembre 1899), et par M. Becquerel (*Comptes rendus*, 11 décembre 1899).

Des tentatives cependant avaient été faites auparavant, mais sans succès, pour mettre cette action en évidence. M. et Mme Curie avaient, il y a plusieurs mois, essayé avec l'uranium, sans rien obtenir. De leur côté, MM. Elster et Geitel (*Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 200, 5 novembre) n'ont pas mieux réussi en opérant sur du chlorure de baryum renfermant du chlorure de radium.

M. Giesel, dont les recherches antérieures sur les substances radioactives ont été signalées dans ce journal (t. XXI, p. 200, 5 novembre 1899) a, le premier, réussi à obtenir une déviation magnétique en opérant sur du polonium fraîchement préparé. La préparation était placée entre les pôles d'un électro-aimant en fer à cheval à branches verticales : l'écran fluorescent était posé sur les pôles. Quand on excitait l'électro-aimant, la tache fluorescente se trouvait rejetée à droite des lignes de force NS et prenait la forme d'une comète ; elle passait de l'autre côté de la ligne médiane du champ quand on renversait le sens du courant magnétisant. En disposant la préparation au-dessus de l'écran, les déviations changeaient de sens.

Avec les préparations de radium la déviation était moins nette, bien qu'il ne pût y avoir aucun doute sur son existence.

En substituant à l'écran phosphorescent une plaque photographique, l'auteur a constaté sur les épreuves, outre la déviation, des différences de vigueur d'impression dans le voisinage de la substance radioactive ; dans la direction de la déviation des rayons, la propagation de ceux-ci est marquée par des lignes sinueuses qui rappellent les formes que prend l'auréole de l'étincelle d'induction dans le champ magnétique.

MM. Mayer et V. Schweidler ont constaté que les rayonnements d'un bromure de baryum radifère préparé par M. Giesel et d'un carbonate préparé par M. Curie, n'étaient pas modifiés dans la même proportion par le champ magnétique.

Les résultats des recherches de M. Becquerel ont été exposés ici (t. XXI, p. 475, 23 décembre 1899 et t. XXII, p. 36, 6 janvier 1900). Rappelons seulement que M. Becquerel a constaté la déviation magnétique avec le chlorure de baryum radifère, tandis qu'il n'a pu la mettre en évidence avec une préparation de polonium préparée par M. et Mme Curie, contrairement à ce qu'a observé M. Giesel.

Ces divergences entre les résultats de M. Becquerel et de M. Giesel, ainsi que l'insuccès des essais de M. et Mme Curie sur le rayonnement de l'uranium, indiquaient une hétérogénéité du rayonnement des corps émettant des rayons Becquerel. La note de M. Curie met hors de doute cette hétérogénéité. (*Note de la Rédaction.*)

Digitized by Google

portion de rayons non déviés est d'autant plus grande que la distance est plus faible. Ainsi pour un échantillon de carbonate de baryum radifère la proportion de rayons non déviables, mesurée par l'intensité du courant entre les armatures, était, en centièmes, de

0 0 11 33 36 71

pour des distances, en centimètres, de

7,1 6,9 6,5 6,0 5,1 3,4

Ceci indique que les rayons déviables sont les plus pénétrants puisqu'ils se propagent le plus loin. Cette idée est confirmée par le fait que si l'on tamise le faisceau au travers d'une lame absorbante (aluminium ou papier noir), les rayons qui passent sont tous déviables par le champ. Ainsi une lame d'aluminium de 0,01 mm d'épaisseur suffit pour supprimer tous les rayons non déviables quand la substance est assez loin du condensateur; pour des distances plus petites (3,4 et 5,1 cm) deux feuilles d'aluminium de cette épaisseur sont nécessaires.

Les mesures faites sur quatre substances radifères (chlorures ou carbonates) d'activité très différente (le rapport des activités des produits extrêmes était au moins de 300) ont donné des résultats analogues. La distance à laquelle s'étendent dans l'air les rayons non déviables était à peu près la même (voisine de 6,7 cm) pour ces quatre produits.

Pour tous les échantillons, les rayons pénétrants déviables par l'aimant ne sont qu'une faible partie du rayonnement total; ils n'interviennent que pour une faible part dans les mesures où l'on utilise le rayonnement intégral pour produire la conductibilité de l'air.

Les composés du polonium que M. Curie a étudiés n'émettent que des rayons non déviables comme l'avaient déjà trouvé M. Becquerel. De l'ensemble des expériences il semble résulter que le rayonnement non déviable du polonium soit délimité dans l'espace et dépasse à peine dans l'air une sorte de gaine entourant la substance sur une épaisseur de quelques centimètres.

Les rayons non déviables du radium paraissent, d'ailleurs, complètement analogues aux rayons du polonium; comme eux ils sont pénétrants, comme eux ils occupent dans l'air une région délimitée autour de la substance.

Pour expliquer les divergences de ses résultats avec ceux de M. Giesel, M. Curie fait observer qu'il est possible que le polonium récemment préparé émette des rayons déviables et que ces rayons soient les premiers à disparaître quand l'activité du produit diminue.

Sur la pénétration des rayons de Becquerel non déviables par le champ magnétique, par **M^me^ Slodowska-Curie**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 76-79.

D'après les expériences faites jusqu'ici, les rayons du radium se comporteraient au point de vue de l'absorption, comme les rayons de Rontgen; ils seraient d'autant plus pénétrants qu'ils auraient traversé une plus grande épaisseur de matière. On attribue cet effet à la présence simultanée de rayons doués d'un pouvoir pénétrant inégal.

D'apres les expériences qu'a faites récemment M^me^ Curie il y a lieu de distinguer les rayons déviables des rayons non déviables par l'aimant. Tandis que pour les premiers, le coefficient d'absorption est, en effet, décroissant ou peut être constant quand croît l'épaisseur de matière traversée, les rayons non déviables sont au contraire d'autant plus absorbables que l'épaisseur de matière qu'ils ont déjà traversée est plus grande. Cette loi d'absorption singulière est contraire à celle que l'on connaît pour les autres rayonnements; elle rappelle plutôt la manière de se comporter d'un projectile, qui perd une partie de sa force vive en traversant des obstacles.

Les expériences ont été faites de la manière suivante : L'un des plateaux d'un condensateur horizontal est relié à une pile, l'autre à un électromètre et à un quartz piézo-électrique : ce dernier est percé en son centre d'une ouverture fermée par une toile métallique et au-dessous de laquelle se trouve la substance radio-active. Le rayonnement de celle-ci provoque, en traversant l'intervalle des deux plateaux, le passage de la charge de l'un à l'autre.

Les échantillons de polonium de M. et M^me^ Curie ne donnant pas de rayons déviables, ils ont d'abord été étudiés. Tant que la distance de la substance au condensateur est supérieure à 4 cm, aucun courant ne passe; si on diminue la distance le courant prend brusquement une valeur notable qui croît à mesure que la distance diminue. Si alors on recouvre la substance radiante

Digitized by Google

d'une feuille d'aluminium, l'intensité du courant diminue ; si on met une seconde lame la diminution est beaucoup plus grande ; l'absorption par la seconde lame est plus forte que la première.

Les rayons non déviables du radium se comportent comme les rayons du polonium. Pour les étudier, on opère comme il a été dit en ayant soin de rejeter les rayons déviables à l'aide d'un champ magnétique de manière à ce qu'ils ne puissent pénétrer entre les lames du condensateur.

Les propriétés si différentes, au point de vue de l'absorption, des rayons non déviables et des rayons déviables compliquent les résultats des expériences faites sur l'ensemble des deux espèces de rayons. Si l'on observe à une distance relativement grande du corps radio-actif, les rayons non déviables prédominent et l'absorption diminue avec la distance ; si l'on observe à plus petite distance les rayons non déviables prédominent et l'absorption est d'autant plus faible qu'on se rapproche plus de la substance ; pour une distance intermédiaire, l'absorption passe par un maximum et la pénétration par un minimum.

Malgré leurs propriétés si particulières les rayons non déviables des corps radio-actifs se propagent en ligne droite ; le fait a été démontré par M. Becquerel (1).

(1) Voici le passage de la note de Mme Curie relative à ces expériences encore inédites :

« M. Becquerel a bien voulu élucider cette question (de la propagation rectiligne) par une expérience directe qu'il nous autorise à décrire ici. Le polonium émettant les rayons non déviables, était placé dans une cavité linéaire très étroite, creusée dans une feuille de carton. On avait ainsi une source linéaire de rayons. Un fil de cuivre de 1,5 mm de diamètre était placé parallèlement en face de la fente, à une distance de 4,9 mm. Une plaque photographique était placée parallèlement à une distance de 8,65 mm au delà. Après une pose de dix minutes, l'ombre géométrique du fil était reproduite d'une façon parfaite avec les dimensions prévues et une pénombre très étroite de chaque côté correspondant bien à la largeur de la source. La même expérience réussit également bien en plaçant contre le fil une double feuille d'aluminium battu que les rayons sont obligés de traverser.

» Il s'agit donc bien de rayons capables de donner des ombres géométriques parfaites. L'expérience avec l'aluminium montre que ces rayons ne sont pas diffusés en traversant la lame et que cette lame n'émet pas, tout au moins en quantité importante, des rayons secondaires analogues aux rayons secondaires de Roentgen. »

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 10 janvier 1900.

Au début de la séance, le président, M. Violle, annonce la mort de M. Vaschy, enlevé, tout jeune encore, à la science à laquelle il s'était entièrement consacré. Puissant mathématicien, esprit original, travailleur infatigable, il est mort victime du surmenage intellectuel ; malgré ses fonctions d'ingénieur des Télégraphes, d'examinateur à l'École Polytechnique qui auraient suffi à absorber toute l'activité d'un travailleur ordinaire, il a pu, durant sa trop courte carrière, faire de nombreux travaux résumés dans des notes à l'Académie des Sciences, dans des communications aux sociétés savantes, dans des articles publiés dans *l'Éclairage Électrique*. Son *Traité d'électricité* est une œuvre capitale qui lui survivra. Nous nous associons, en notre nom personnel et au nom de la rédaction entière du journal, aux regrets qu'éprouveront tous ceux qui ont connu ce savant qui, sous des apparences d'une extrême modestie, cachait un noble cœur et un grand esprit.

M. **H. Cuénod** expose ensuite les procédés employés pour les ***Transmissions de force motrice à grandes distances au moyen du courant continu, système Thury.***

Cette communication avait surtout pour but de faire valoir les avantages préconisés pour ce système et de provoquer une discussion à ce sujet. La discussion en raison de l'heure avancée à laquelle s'est terminée la séance a été, en réalité, fort écourtée.

Le transport de l'énergie à grandes distances doit être envisagé non seulement au point de vue technique, mais au point de vue économique. Si l'on admet que l'intérêt, l'amortissement et les frais d'exploitation d'un tel transport représentent 10 p. 100 par an du capital engagé, et que, pour lutter avantageusement contre les moteurs à vapeur, les moteurs électriques ne doivent pas dépenser plus de 150 fr. par an, le capital engagé ne doit pas dépasser 1 500 fr par cheval utilisé. Le système série a été étudié pour satisfaire à ces conditions.

Son principe est bien connu : l'usine est formée de plusieurs dynamos donnant un courant continu d'intensité constante. On couple en série un certain nombre de ces dynamos, proportionnel à la puissance des appareils d'utilisation.

Digitized by Google

Ces derniers sont eux-mêmes montés tous en série avec le circuit de transmission; ils sont formés de moteurs enroulés en série.

Les conséquences de ces dispositions sont les suivantes : la perte en ligne (RI^2) est constante, quelle que soit la puissance utilisée ; la tension de distribution est proportionnelle à la puissance utilisée, pour une installation donnée; lors de la mise hors-circuit d'un des appareils, soit à l'usine, soit chez les abonnés, la continuité du circuit doit être maintenue en remplaçant cet appareil par un conducteur de faible résistance ; les moteurs enroulés en série ayant une marche instable doivent être munis de régulateurs de vitesse et l'intensité du courant d'alimentation doit être maintenue aussi constante que possible.

Les avantages réclamés pour ce système par rapport aux transmissions par courants alternatifs triphasés, sont les suivants : production des hautes tensions sans transformation, au moyen de dynamos ordinaires, chaque dynamo pouvant donner jusqu'à 3 500 volts. — Rendement élevé puisque l'on supprime les transformateurs et que le rendement des génératrices est égal à celui des alternateurs. — Suppression des effets d'induction sur les lignes ; diminution du nombre de poteaux et d'isolateurs, et par conséquent des pertes par dérivation. — Simplicité de la ligne formée d'un seul conducteur formant une boucle. — L'isolement des conducteurs parcourus par des courants continus étant plus facile que celui des conducteurs à courants alternatifs, on peut employer des tensions plus élevées à conditions égales. Les difficultés d'isolement dépendent d'ailleurs de la d. d. p. maximum et celle-ci, avec les courants alternatifs est égale à 1,4 fois la force électromotrice efficace.

L'intensité du courant étant toujours la même, les moteurs les plus éloignés de l'usine fonctionnent aussi bien que les plus proches, quelle que soit la perte en ligne. — Par suite des propriétés mêmes du fonctionnement des moteurs enroulés en série (couple constant), impossibilité à un abonné de surcharger ses moteurs et de troubler ainsi le fonctionnement des installations voisines. — Enfin, possibilité de monter en série plusieurs usines éloignées les unes des autres, ce qui permet de les utiliser dans des conditions plus économiques. — Le tout conduisant d'après les constructeurs, à des dépenses de premier établissement réduites au minimum et à des dépenses d'exploitation très faibles.

Pour obtenir un isolement suffisant du sol, qui est indispensable, les dynamos et les moteurs sont montés sur un plancher formé d'une raquette en fer isolé par de la porcelaine. L'isolement assuré par ce plancher est suffisant pour qu'on puisse, lorsqu'on est monté sur lui, toucher impunément un des conducteurs à 10 000 ou 15 000 volts. L'isolement est d'ailleurs très facilement réalisé, comme l'ont prouvé des installations mobiles des batteuses de blé, faites à Rieti.

Les collecteurs des dynamos ne donneraient lieu à aucun ennui, et la dépense correspondante serait insignifiante : à Zoug, les mêmes charbons ont duré pendant huit ans (?) à raison de 18 heures par jour ; ils ont donc fourni une carrière de 45 000 heures et entraîné, pendant ce temps, une dépense de 5 francs pour une puissance de 100 chevaux.

Bien entendu si l'on veut alimenter un réseau secondaire, éclairage, tramways, etc., il faut utiliser le courant principal à actionner des moteurs électriques, qui entraînent les génératrices alimentant ce réseau.

Les installations exécutées ou en exécution de 1893 à 1899, représentent une puissance totale de 17000 chevaux : ce sont les suivantes :

La Chaux-de-Fonds. — Usine à Combe-Garot, prévue pour 9 groupes de 150 ampères et de 1 600 volts, soit 14 400 volts au maximum ; il n'y a que 4 groupes en service, un autre en installation ; le câble, formant une boucle, a une longueur totale de 52 kilomètres et une section de 150 mm². Une station de réserve sur l'Areuse est projetée à Champ-du-Moulin ; elle mérite une mention : elle comprendra des dynamos pouvant agir comme réceptrices aux heures de faible charge ou comme génératrices pendant les coups de collier et, suivant le cas, actionner des pompes qui refouleront l'eau de la rivière dans un bassin supérieur, ou être actionnées par les turbines que fera tourner l'eau précédemment élevée. C'est un accumulateur original.

Gênes. — Les trois usines, Paccinotti, Volta, Galvani, sont bien connues. Elles sont montées toutes trois en tension.

Biberist, près Soleure (1893). — Deux groupes de 3000 à 3500 volts chacun et de 40 ampè-

Digitized by Google

res ; conducteur d'une longueur totale de 28,5 km., et de 7 mm de diamètre. Ramenée à la pleine charge, la perte en ligne est de 11,7 p. 100.

Zoug. (1895).

Val de Travers. — 3 groupes de chacun 2 600 volts et 65 ampères. Conducteurs de 10,5 mm de diamètre d'une longueur totale de 35 km.

Brescia. — 3 groupes de 50 ampères et 1500 volts et 2 groupes de 50 ampères et 3 000 volts. L'usine est à 26 km de distance ; la tension normale est de 8 000 volts et la puissance transmise de 600 chevaux.

Grande-Eau à Aigle. — 3 groupes de 50 ampères et 3 500 volts. Longueur totale du conducteur 36 km.

Comitat d'Eisenburg. — 3 groupes pouvant donner au total 65 ampères et 7 200 volts.

Rieti. — Usine située à 30 km du point d'utilisation. 30 ampères et 6 600 volts.

Renteria. — Usine située à 14 km de distance. 3 groupes pouvant donner 65 ampères et 5 200 volts au maximum. Une deuxième usine projetée donnerait 10 000 volts et 65 ampères.

Usines de Linarès. — Usine à 30 km de distance projetée pour quatre groupes de 60 ampères et 3 500 volts, mais n'en comprenant actuellement que deux.

Saint-Maurice à Lausanne. — Usine en construction, située à 56 km de Lausanne ; elle comprendra cinq turbines actionnant chacune deux groupes de 150 ampères et 2 230 volts. La tension totale pourra donc atteindre 22 300 volts.

A la suite de la communication de M. Cuénod, M. Thury a décrit l'appareillage du système série. L'intensité du courant étant constante, cet appareillage est très uniforme.

A l'usine génératrice, il faut maintenir constante l'intensité du courant.

Plusieurs cas peuvent se présenter :

1° Les génératrices sont entraînées à vitesse angulaire constante :

a. Toutes ces génératrices sont excitées par une seule excitatrice. On règle le courant de cette dernière de façon à modifier le champ magnétique des génératrices ; ce réglage est fait automatiquement ; les écarts d'intensité ne dépassent pas 2 p. 100 du maximum lorsque la charge varie brusquement. Cette méthode appliquée à l'usine Volta, à Gênes, ne peut convenir lorsque la tension dépasse 8 000 volts.

b. Chaque génératrice est réglée séparément d'abord par variation du champ lorsque la charge diminue du maximum jusqu'à trois quarts de cette valeur. Ensuite, jusqu'à charge nulle, la variation de voltage est obtenue par décalage des balais, ce qui peut se faire sans inconvénient en raison de la valeur à laquelle a été précédemment amenée l'induction magnétique.

2° Les génératrices sont entraînées à vitesse angulaire variable.

a. Souvent les moteurs donnent un couple constant et assurent ainsi automatiquement une intensité constante, la vitesse angulaire et la force électromotrice variant proportionnellement à la charge. Si ce réglage est insuffisant, on le parfait par un réglage à la main ou un réglage automatique. Ce dernier peut se faire d'une des deux manières suivantes :

b. Réglage simultané ou indépendant de plusieurs unités par un régulateur unique. Ce dispositif est adopté à l'usine Paccinotti, à Gênes et à la Chaux-de-Fonds. Le régulateur agit sur le régulateur de vitesse des moteurs ou des turbines par une transmission légère.

c. Réglage individuel de chaque unité par un régulateur indépendant. Système adopté à Aigle, Zoug, etc. L'appareil est analogue à celui employé pour le cas *1 b.* Il n'est pas nécessaire que toutes les génératrices soient régulatrices.

Pour mettre les unités en circuit, on commence par les faire tourner en court-circuit jusqu'à ce qu'elles donnent leur intensité normale, puis on les introduit dans le circuit général au moyen d'un commutateur analogue à celui décrit plus loin pour les moteurs. Pour les arrêter, on agit inversement. Un disjoncteur automatique coupe toute génératrice qui, séparée de son moteur, commencerait à tourner en sens inverse de la marche normale.

Aux stations réceptrices, il faut maintenir constante la vitesse des moteurs. Pour cela chacun de ceux-ci est muni d'un volant et, en outre d'un régulateur automatique. Ce dernier peut agir comme suit :

1° Par déplacement de la ligne des pôles, l'enroulement inducteur étant analogue à un anneau Gramme ; ce dispositif a été généralement abandonné ;

2° Par réglage du champ au moyen d'une résistance en dérivation. Ce dispositif est très employé pour les moteurs dont la puissance ne dépasse pas 60 à 100 chevaux :

Digitized by Google

3° Par combinaison du procédé précédent et du décalage des balais, comme il a été expliqué pour les génératrices;

4° Par batterie d'accumulateurs branchée en dérivation aux bornes du moteur.

Le tableau de manœuvre des moteurs est très simple : les deux extrémités de la ligne sont reliées directement à deux secteurs de couronne métallique fixés sur un plateau isolant; les extrémités du moteur sont reliées aussi à deux secteurs de couronne métallique disposés autour du même axe que les précédents. Deux autres secteurs, de plus grande ouverture, peuvent frotter sur les quatre précédents et tourner autour du centre commun. Lorsqu'un des frotteurs réunit les deux secteurs de ligne, le courant ne passe pas dans le moteur qui est mis en court-circuit par le second frotteur. Lorsque les frotteurs sont déplacés d'un quart de tour, un d'eux réunit un des pôles de la ligne avec un des pôles du moteur et le second l'autre pôle de la ligne avec le second pôle du moteur. Le courant passe donc en entier dans le moteur. Dans la position intermédiaire, les frotteurs réunissent à la fois les deux pôles de la ligne entre eux et chaque pôle de la ligne à chaque pôle du moteur respectivement. La continuité du service n'est donc jamais interrompue. Ce commutateur est l'organe essentiel du tableau, le seul qui doive être manœuvré à la main. Ce tableau comprend en outre :

1° Un ampèremètre et un voltmètre;

2° Un « ferme-circuit » automatique, qui établit une communication directe entre les deux pôles de la ligne et met le moteur en court-circuit, si la d. d. p. aux bornes de ce moteur devient trop élevée;

3° Un pare-étincelles, lorsque la puissance du moteur dépasse une certaine limite, 100 chevaux par exemple.

A la suite de cette communication, M. Thury répondant à des questions qui lui sont posées, explique que la tension maximum qu'on peut atteindre dépend des difficultés d'isolement. A Gênes, vingt machines sont montées en série. Il croit qu'on pourrait atteindre une tension de 70 000 volts (3500 volts par machine).

Le nombre de moteurs qu'on peut monter dans la ligne doit être aussi réduit que possible. Le système série s'applique à la transmission et non à la distribution. A Gênes, il y a vingt-deux moteurs intercalés sur le circuit. La plus faible puissance des moteurs branchés est de 2, 5 à 3 chevaux; pour la régulation, on a branché sur ce moteur une batterie d'accumulateurs en dérivation. G. P.

ASSOCIATION MONTEFIORE

Séance du 8 octobre 1899 (1).

Sur la protection des lignes téléphoniques et télégraphiques contre les dangers de contact avec les lignes industrielles. *Bulletin*, p. 297-310.

L'ordre du jour appelle la discussion sur ce sujet qui a été l'objet d'une communication de M. A. Moens à la séance précédente (2).

M. L'Hoest, secrétaire général, signale un extrait du règlement relatif aux installations électriques en Suisse (3), extrait se rapportant aux fils de garde.

(1) D'après le dernier fascicule du *Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore*, publié le 6 janvier.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 39, 6 janvier 1900.

(3) Voici les deux articles cités :

Art. 23. — *a*. Lorsque les circonstances forceront à faire passer les fils à faible courant au-dessus des lignes de contact qui utilisent les rails ou la terre pour le retour du courant, on tendra au-dessus des lignes de contact des fils de garde parallèles, conformément aux prescriptions de l'article 35.

b. Dans les endroits où la pose des fils de garde présente des difficultés considérables, on placera, pour empêcher la chute des fils à faible courant, un solide filet établi d'après les articles 27-34 et enserrant les fils à faible courant en dessous et sur les deux côtés. Ce filet devra être relié à la terre et aux rails.

c. On pourra se passer de protection dans le cas où une ligne à faible courant (y compris le fil de retour) est constituée par du fil d'acier de 3 mm et n'offre pas une portée supérieure à 30 m.

Art. 35. — *a*. Les fils de garde que l'on établira au-dessus des lignes de contact devront avoir au moins 4 mm de diamètre et 480 kg de résistance absolue de rupture.

b. Ces fils devront être tirés à l'endroit du croisement sur une longueur suffisante et de telle sorte que les fils à faible courant qui viendraient à casser ne puissent toucher les fils de contact.

c. Lorsque la disposition spécifiée sous *b* ne pourra pas être réalisée, on pourra établir les fils de garde à côté du chemin de fer et de telle sorte que les fils à faible courant qui tombent, soient obligés de faire sûrement contact avec ces fils de garde avant de toucher les fils de contact.

d. Ces fils de garde seront reliés à leurs deux extré-

Digitized by Google

M. Moens signale les passages qui se rapportent au sujet en discussion, d'un rapport de M. van Vloten à l'assemblée générale de l'Union internationale permanente de tramways. Ce rapport ayant été analysé antérieurement dans cette revue (1), nous nous bornerons à indiquer sommairement les conclusions des passages cités par M. Moens :

Les languettes en bois présentent des inconvénients : elles ne donnent qu'une faible isolation dans les temps humides; elles peuvent n'avoir aucun effet préventif si le fil télégraphique ou téléphonique cassé s'enroule autour du fil de trôlet ; elles ne garantissent pas le fil tombé contre une mise en communication avec le fil de trôlet si les joues de la roulette s'appuyant sur ce fil sont suffisamment hautes pour venir en contact avec le fil tombé ; elles se pourrissent rapidement, sont d'un entretien difficile et d'un aspect disgracieux.

Les fils de garde offrent en partie les inconvénients des languettes, ils ont l'avantage de coûter moins cher et d'être plus faciles à surveiller.

Les filets de sûreté fixés sur les supports mêmes des fils téléphoniques sont encore moins coûteux.

Le remplacement des fils télégraphiques ou téléphoniques nus et aériens par des câbles aériens isolés est très coûteux et pour cette raison ne peut être utilisé que dans un petit nombre de cas ; à fortiori l'emploi de câbles isolés souterrains, qui donne toute sécurité, ne peut être adopté que très rarement.

Les bandes et rampes de garde mises à la terre ne donnent qu'une sécurité passagère car si le fil tombé fond au point où il touche la bande ou la rampe, le courant peut être remis sur la ligne de traction par le préposé au tableau de l'usine et le fil tombé sur le fil de trôlet devient dès lors dangereux.

Les fusibles donnent au point de vue des appareils téléphoniques une sécurité qui peut être regardée comme absolue.

Les dispositifs automatiques de mise à la terre de la ligne de trôlet, comme le système Ulbricht ont l'inconvénient de donner lieu à une dépense assez grande quand les traversées de lignes téléphoniques sont nombreuses ; mais ils ont au point de vue de la sécurité des personnes les mêmes avantages que les fusibles au point de vue de la protection des appareils. L'emploi simultané des deux derniers systèmes est donc de la plus grande utilité.

M. Pedriali présente ensuite, au nom de M. d'Hoop et au sien, une note dans laquelle il fait tout d'abord remarquer que la nécessité de protéger les fils de lignes de tramways résultant de l'éventualité de la chute de fils téléphoniques ou télégraphiques, il serait juste que les propriétaires des réseaux à basse tension ne rejettent pas sur les seules compagnies de traction l'obligation de prendre des mesures préventives.

Ces mesures préventives consistant en définitive dans l'emploi de baguettes protectrices posées sur le fil ou de fils de garde placés de diverses façons, les auteurs comparent les avantages et inconvénients de ces deux solutions.

Les fils de garde, pas plus que tout autre procédé d'ailleurs, ne constituent un préservatif absolu contre le contact éventuel des fils brisés. Sous ce rapport ils se sont montrés beaucoup inférieurs à la réglette isolante. Ils constituent eux-mêmes un danger plus grand que celui que l'on veut éviter ; en effet, placés dans le voisinage immédiat du fil de trôlet, il y a possibilité qu'en cas de rupture ils viennent en contact avec ce fil et la rupture des fils de garde est d'autant plus possible qu'ils peuvent facilement être atteints par les flèches de trôlet lors des déraillements de la roulette. En cas de neige ou de verglas leur rupture peut également donner lieu à d'autres accidents. Pour ces raisons les fils de garde bien qu'employés au début de la traction par trôlet sont abandonnés aujourd'hui dans la plupart des pays où la traction s'est développée (1).

La mise à la terre de fils de garde, bien que présentant en principe des avantages dans le cas

mités au rail par une ligne de terre en fil de cuivre d'au moins 6 mm de diamètre.

Les supports des fils de garde ne doivent pas être isolés contre la terre.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 415-420 et particulièrement, p. 416-417, 28 août 1897.

(1) A l'appui de cette assertion, on peut citer les principales villes d'Allemagne et notamment :

Berlin, où la baguette isolante est exclusivement employée sur toutes les lignes à trôlet ;

Leipzig, où, à la demande des autorités, on a placé, à

Digitized by Google

de ruptures de fils téléphoniques ou télégraphiques, peut donner lieu à des accidents quand lors des déraillements des perches de trôlet, il y a contact simultané de la perche conductrice avec le fil de trôlet et le fil de garde. Pour cette raison les fils de garde ne devraient être mis à la terre que lorsqu'il sont suffisamment éloignés des perches de trôlet pour ne pas permettre un contact simultané, mais il est évident que l'efficacité de la protection diminue avec la distance entre le fil de trôlet et le système de fils de garde. Les fils de garde à la terre doivent être soigneusement isolés des poteaux et supports pour ne pas amener de troubles dans l'isolement du réseau.

Le système par réglettes, sans être d'une efficacité absolue, n'a pas les inconvénients des fils de garde.

L'emploi de ceux-ci simultanément avec les réglettes n'ajoute rien à l'efficacité de la réglette convenablement établie ; au contraire dans certains cas le fil brisé arrêté par le fil de garde pourra, par suite de son enroulement autour de l'obstacle qui l'arrête, venir plus facilement en contact avec la partie inférieure du fil de trôlet protégé par des réglettes que si ce dernier système est seul employé.

La pose de fils de garde sur les lignes existantes ou en voie de construction est matériellement impossible ou tout au moins entraîne la reconstruction d'une partie de l'équipement aérien. L'adjonction de ces fils augmente en effet de 40 p. 100 en alignement droit et de 60 p. 100 dans les courbes, la tension exercée sur les supports. En admettant même que les poteaux puissent supporter ce supplément de tension, ils seraient dans la plupart des cas trop courts pour qu'on puisse placer les fils de garde à distance suffisante au-dessus du fil de trôlet. Si les lignes sont fixées aux façades par des rosaces, il faudrait placer de secondes rosaces au-dessus des premières, ce à quoi les riverains s'opposeraient le plus souvent.

Pour l'ensemble de ces raisons les auteurs recommandent l'emploi des réglettes.

A la suite de cette communication un débat s'engage entre MM. Pedriali, Biske, Robert, de Bast et d'autres membres. Il est décidé que la discussion sera poursuivie ultérieurement.

Mesure des grandeurs électriques dans les circuits à courants alternatifs, par **Omer de Bast**. *Bulletin*, p. 311-346.

Dans cette seconde partie du mémoire dont nous signalions antérieurement la première partie (voir p. 40 de ce volume), l'auteur expose les méthodes employées pour la mesure de la puissance et de l'énergie.

Après avoir rappelé que le produit des ampères efficaces par les volts efficaces ne donne pas la puissance dépensée dans un circuit inductif, il expose la méthode des trois voltmètres de MM. Ayrton et Sumpner et la méthode des trois ampèremètres de M. Fleming pour la détermination de cette puissance. Il indique ensuite le principe des wattmètres à courants alternatifs, insiste sur les erreurs auxquelles leur emploi peut donner lieu et montre comment ils doivent être connectés aux conducteurs d'alimentation dans le cas d'un courant alternatif simple, celui de courants diphasés avec trois ou avec quatre conducteurs, et enfin dans le cas de courants triphasés avec montage en étoile ou avec montage en triangle. Pour les courants triphasés il décrit complètement la méthode dite des deux wattmètres, puis deux méthodes applicables aux systèmes triphasés équilibrés et n'exigeant l'emploi que d'un seul wattmètre à enroulement simple ou à enroulement double.

Dans le chapitre consacré à la mesure de l'énergie, il donne le principe de compteurs à courants alternatifs, en particulier du compteur Elihu Thomson, du compteur Aron, du compteur de la General Electric Company, du compteur Siemens pour courants triphasés.

L'ensemble du mémoire forme un excellent cours de mesures pour courants alternatifs.

titre d'essai, des fils de garde auxquels on a renoncé ensuite pour ne conserver que la baguette ;

Brême, où les baguettes ont été adoptées après essais comparatifs avec les fils de garde ;

Hambourg, où l'administration des télégraphes a donné la préférence à la baguette ;

Remscheid, Soligen et Aix-la-Chapelle, où, après avoir fait sur un grand pied des essais de fils de garde, on a renoncé à ce système pour adopter la baguette isolante ;

Erfurt, où les essais effectués par l'administration ont fait renoncer aux fils protecteurs pour adopter les baguettes.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 27 Janvier 1900. 7e Année. — N° 4

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

SUR LA THÉORIE DE LA BOBINE D'INDUCTION

Les expériences de Mizuno (1) ont mis en évidence, d'une façon très nette, le fait qu'il y a, pour une bobine et un courant donnés, une capacité du condensateur primaire qui donne la longueur d'étincelles maximum.

Les théories proposées jusqu'à présent (2) ne permettent pas d'expliquer ce maximum ; au contraire, elles semblent indiquer que plus la capacité du condensateur diminue, plus la force électromotrice induite augmente. Il ne faut pas oublier que toutes ces théories indiquent seulement la valeur des forces électromotrices engendrées par l'induction, grâce à la forme oscillatoire du courant primaire, mais elles ne tiennent nullement compte de l'énergie mise en jeu à chaque décharge, bien que les équations initiales renferment implicitement cette grandeur.

On sait que l'énergie disponible à chaque décharge a pour valeur :

$$W = \frac{L_1 I_0^2}{2},$$

en appelant I_0 l'intensité du courant primaire au moment de la rupture et L_1 le coefficient de self de la bobine primaire. On sait aussi que l'ouverture du circuit amène la charge du condensateur et que l'énergie totale se divise entre la bobine et le condensateur de telle sorte que, si on néglige les pertes par effet Joule, cette énergie totale reste constante et peut être représentée par la somme des deux courbes W_1 et W_2 de la figure 1 ; W_1 représente

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 151, 29 avril 1899.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 174, février 1898 ; t. XV, p. 52, avril 1898 ; t. XIX, p. 41 et 134, avril 1899.

Digitized by Google

à chaque instant l'énergie cinétique $\frac{LI^2}{2}$, W_c l'énergie emmagasinée dans le condensateur et I l'intensité primaire.

Quand une bobine fonctionne avec interrupteur et condensateur, il se produit à l'interrupteur des étincelles plus ou moins fortes selon que l'étincelle secondaire est plus ou moins longue ; toutes choses égales d'ailleurs, si on augmente cette longueur, on voit augmenter le *volume* de l'étincelle primaire jusqu'au moment où la longueur devenant trop grande, l'étincelle secondaire disparaît tandis que l'étincelle de rupture prend son intensité maximum. Il y a donc lieu de tenir compte de l'interrupteur dans la théorie des bobines, car il est évident que l'énergie *limitée*, disponible à chaque décharge, se trouve dépensée là où elle trouve la moindre résistance relative ; plus généralement elle se partage entre les deux étincelles, mais pas au même moment.

Comment se fait la rupture d'un circuit ? Au moment où les 2 parties de l'interrupteur se séparent, la force électromotrice de self $L\frac{dI}{dt}$ est évidemment nulle, il n'y a dans le circuit que la force électromotrice E de la source. Comme la distance entre les deux points est nulle au début on peut admettre que la très faible valeur de E est suffisante pour la franchir, il doit donc se produire une étincelle qui augmente la résistance du circuit sans le rompre et comme à mesure que la distance augmente, $L\frac{dI}{dt}$ s'élève, il semble qu'il n'y a aucune raison pour que toute l'énergie de la décharge ne passe pas par l'étincelle de rupture et, par suite il ne doit rien rester pour l'étincelle secondaire !...

Supposons maintenant que, pour une raison quelconque, l'étincelle de rupture ne se produise pas à l'instant même de la rupture, au moment où elle éclatera la distance entre les deux points de contact ne sera pas nulle, donc la différence de potentiel nécessaire pour cette étincelle ne sera pas nulle non plus et elle ira en augmentant à mesure que la distance croîtra. Nous pouvons représenter cette valeur du potentiel explosif, en fonction du temps, pour un interrupteur donné, par une ligne V_1, figure 2, ne passant pas par l'origine ; bien entendu l'inclinaison de V_1 dépend de la vitesse de rupture et la loi de variation peut être différente de la ligne droite employée ici.

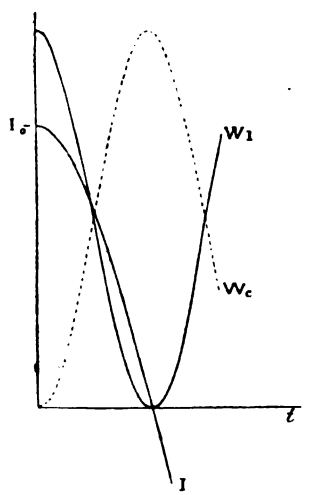


Fig. 1.

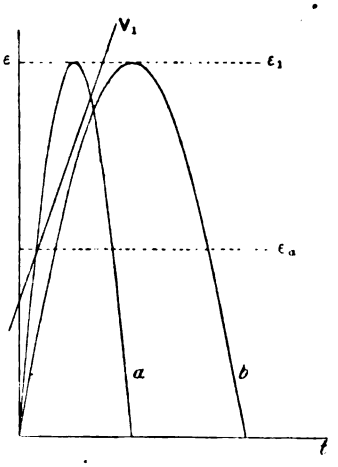


Fig. 2.

On peut donner, à l'appui de l'hypothèse ci-dessus, l'explication suivante : quand la distance entre les points d'interruption est *infiniment petite*, c'est-à-dire aussitôt après la rupture, la capacité entre ces points est très grande, il faut charger cette capacité de sorte que la différence de potentiel est nulle, malgré les forces électromotrices qui existent dans le circuit. Cette capacité s'annule très vite, mais elle a pour effet de barrer le passage à l'étincelle au premier instant de la rupture : c'est ce résultat que nous traduisons grossièrement par l'ordonnée à l'origine de la courbe V_1.

Quelle que soit la cause réelle du retard de l'étincelle de rupture, l'observation d'un interrupteur à contact solide, au moyen d'un miroir oscillant fixé sur l'interrupteur lui-même, montre effectivement que l'étincelle n'éclate pas à l'instant de la rupture et que la

Digitized by Google

durée du retard dépend, pour un même interrupteur, de l'intensité I_0 de la self L_1 et de la capacité C.

Traçons sur la figure 2 la courbe de la force électromotrice $\mathcal{E}$ développée dans le primaire par la self ; $\mathcal{E}$ a pour valeur, toujours en négligeant l'amortissement des oscillations :

$$\mathcal{E} = I_0 \sqrt{\frac{L_1}{C}} \sin \frac{t}{\sqrt{CL_1}} .$$

On voit alors que, pour une même intensité I_0, au moment de la rupture, l'étincelle peut ou ne peut pas éclater à l'interrupteur, puisque $\mathcal{E}$ dépasse ou ne dépasse jamais V_1.

Si maintenant nous faisons abstraction de la réaction du secondaire, nous pouvons écrire la force électromotrice induite dans ce circuit :

$$E_2 = I_0 \frac{M}{\sqrt{L_1 C}} \sin \frac{t}{\sqrt{CL_1}} ;$$

il y a donc entre les deux forces électromotrices induites dans le primaire et le secondaire un rapport constant :

$$m = \frac{E_2}{\mathcal{E}} = \frac{M}{L_1} ,$$

qui n'est autre chose que ce qu'on appelle rapport de transformation dans les transformateurs industriels ; pour connaître la force électromotrice secondaire, à un moment quelconque, il suffit donc de multiplier $\mathcal{E}$ par m et les courbes de 2 pourront représenter E_2 par un simple changement d'échelle.

Dans la figure 2, la courbe a coupe V_1 en $\mathcal{E}_a$, donc, pour toutes les longueurs d'étincelles exigeant une différence de potentiel supérieure à $m\,\mathcal{E}_a$, toute la décharge se produira à l'interrupteur qui présente moins de résistance, la bobine sera incapable de dépasser l'étincelle $m\,\mathcal{E}_a$; au contraire, avec la courbe b, dont l'ordonnée maximum est cependant la même, on atteindra facilement $m\,\mathcal{E}_b$ au secondaire, puisque l'étincelle ne pourra jamais se produire au primaire.

Examinons maintenant ce qui se passe quand on fait varier seulement un des facteurs du problème : la capacité, par exemple, comme dans les expériences de Mizuno. Quand la capacité croît, la période de l'oscillation primaire,

$$T = 2\pi\sqrt{CL_1},$$

augmente ; en même temps les forces électromotrices $\mathcal{E}$ et E_2 sont en raison inverse de $\sqrt{C}$; c'est ce qui est représenté figure 3 où les courbes sont tracées pour une intensité et une self constantes.

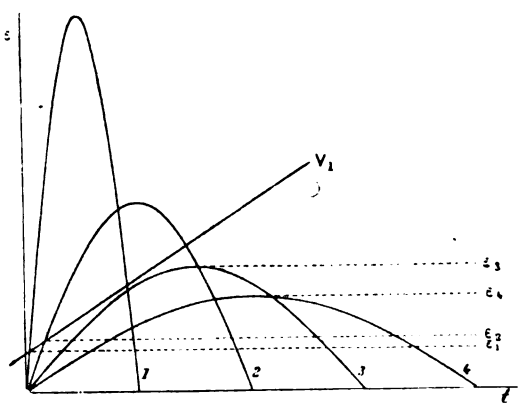


Fig. 3.

La figure 3 montre que, pour les premières courbes, bien que $\mathcal{E}$ soit très élevée, il est impossible d'obtenir de longues étincelles car dès la rencontre de la courbe V_1, la décharge se produit à l'interrupteur. La force électromotrice secondaire maximum E_2 est obtenue avec la courbe 3 ; si on continue à augmenter C, il n'y a plus d'étincelles à l'interrupteur, mais le maximum de $\mathcal{E}$ diminue de plus en plus. Il y

Digitized by Google

a donc, dans cette hypothèse, une capacité qui donne la longueur d'étincelles maximum.

Nous pouvons faire un raisonnement analogue au sujet de la self-induction du primaire : supposons que, sans changer la masse de fer, pour ne pas changer la self secondaire, nous augmentions le nombre de tours primaire, la self primaire va augmenter et devenir L_1'. Si une certaine courbe 3, figure 3, nous a donné l'étincelle maximum avec I_0, L_1 et C, nous pouvons obtenir une courbe identique avec le nouvel enroulement en diminuant la capacité du condensateur de façon à avoir :

$$CL_1 = C'L_1',$$

c'est-à-dire la même période d'oscillation, mais en même temps il faut, pour avoir la même force électromotrice primaire, que :

$$I_0\sqrt{\frac{L_1}{C}} = I_0'\sqrt{\frac{L_1'}{C'}},$$

ou

$$\frac{I_0'}{I_0} = \frac{L_1}{L_1'},$$

L'intensité maximum I_0 est donc en raison inverse de L_1 ou, plus simplement, en raison inverse du carré du nombre de tours du primaire. Dans ces conditions la force électromotrice secondaire est seulement en raison inverse du nombre de tours. L'expérience vérifie parfaitement cette hypothèse, il y a avantage, dans certaines limites, à augmenter la self du circuit primaire et il n'est pas exact de dire que la longueur d'étincelles dépend uniquement de la self du secondaire (1).

Ainsi présentée la théorie est encore très incomplète car, en poussant le raisonnement plus loin, on voit que, à partir de la valeur de I à laquelle les étincelles éclatent à l'interrupteur, la longueur de l'étincelle secondaire doit diminuer puisque les augmentations successives de I, figure 4, ont pour effet de faire éclater l'étincelle de rupture de plus en plus tôt ; ceci est absolument contraire à l'expérience.

En réalité au moment où l'étincelle de rupture éclate, elle ne peut être produite que par la décharge du condensateur, laquelle est pratiquement instantanée, tandis que la décharge du primaire est longue ; ce n'est donc que l'énergie du condensateur qui disparaît. Qu'arrive-t-il alors ? Si nous nous reportons à l'équation fondamentale :

$$L_1\frac{dI}{dt} + RI + \frac{Q}{C} = E,$$

et si nous tenons compte qu'aussitôt après l'étincelle de rupture $Q = o$, nous voyons qu'il faut avoir

$$L_1\frac{dI}{dt} = E - RI_t,$$

c'est-à-dire que ce terme Q devient négligeable au temps t ; nous nous retrouvons en présence des mêmes conditions qu'à la rupture du circuit, les forces électromotrices repartent de o pour une nouvelle oscillation complète, d'amplitude moindre, dont la période est la même mais décalée d'un temps t. Ce phénomène est représenté schématiquement dans la figure 5 : le courant décroît d'abord suivant la courbe a en produisant une force électromotrice représentée par la courbe 1 ; au temps t, $\mathcal{E}_1$ rencontrant la courbe V_1, une décharge complète du condensateur se produit, la variation d'intensité $\frac{dI}{dt}$ subissant un arrêt, la force électromotrice tombe à o pour remonter aussitôt suivant la courbe 2, et s'élève sans

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 174, février 1898.

Digitized by Google

rencontrer V_1, plus haut que le point $\mathcal{E}_1$ où s'est produite l'étincelle de rupture; le résultat de ceci c'est que l'énergie est dépensée à chaque décharge, d'abord une partie dans l'étincelle de rupture, puis une autre partie dans l'étincelle secondaire. Ce cas est évidemment le plus général car il est impossible de faire fonctionner une bobine sans étincelles à l'interrupteur.

On voit, dans la figure 6, comment on peut expliquer que, malgré la dépense d'énergie qui se fait dans l'étincelle de rupture, il est possible, quand on augmente l'intensité, d'augmenter aussi la longueur d'étincelles obtenue au secondaire.

Si la première intensité donne une valeur maximum $\mathcal{E}_3$, en augmentant cette intensité on obtiendra la courbe a qui rencontre V_1 en $\mathcal{E}_1$, une étincelle de

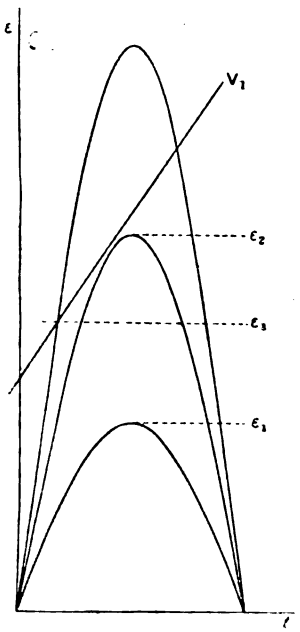


Fig. 4.

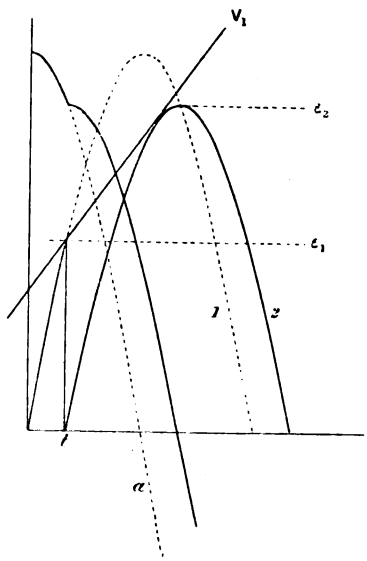


Fig. 5.

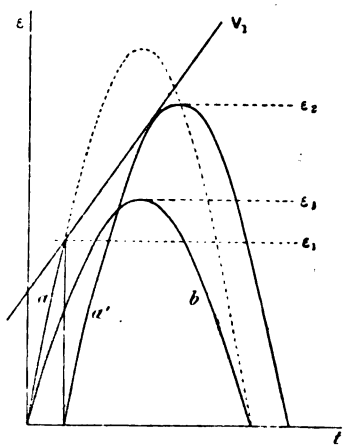


Fig. 6.

rupture se produit alors, a retombe à o et remonte ensuite par a' jusqu'au maximum $\mathcal{E}_2$, plus élevé que $\mathcal{E}_3$.

La conclusion à tirer de cette théorie est, une fois de plus, qu'il faut donner aux interrupteurs mécaniques une vitesse aussi élevée que possible, au moment de la rupture, de façon à ce que la courbe V_1 s'élève très rapidement sans rencontrer $\mathcal{E}$. Il y a des raisons pratiques qui limitent un peu cette vitesse, ce sont, pour les interrupteurs à contact solide, la difficulté de bien établir ces contacts avec une grande vitesse de frottement ou de choc ; pour les interrupteurs à mercure il se produit un entraînement de celui-ci dû à l'action mécanique et à l'attraction électro-dynamique des éléments d'un même courant, de sorte qu'à partir d'une certaine vitesse on ne gagne presque rien à augmenter encore.

H. Armagnat.

Digitized by Google

LE

DÉVELOPPEMENT DES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ EN 1899

II. — Traction électrique

Paris bouge ! Le Métropolitain est sorti du domaine de la légende ; les nouveaux tramways depuis si longtemps promis, toujours si impatiemment attendus, vont être mis en exploitation ; enfin, deux compagnies de chemins de fer, l'Ouest et l'Orléans, ont décidé d'adopter l'électricité pour la traction de leurs trains sur certaines lignes.

Nous sommes redevables de ces progrès en grande partie à l'Exposition qui va bientôt s'ouvrir. Mais la nécessité de ces nouveaux moyens de locomotion résulte moins de circonstances passagères que du développemert normal du trafic dans Paris et sa banlieue.

Enserré dans ses fortifications, Paris semble se développer plus lentement que toutes les autres capitales ; c'est que celles-ci comprennent dans leur population les habitants de leurs faubourgs et de leurs environs. L'augmentation du nombre des habitants ne va pas sans un accroissement proportionnel de l'emplacement qu'ils occupent. C'est une loi générale évidente. Paris ne peut se développer que vers sa banlieue et celle-ci s'étend fort loin.

La région desservie par les nouveaux tramways comprend une bande de terrain qui, dans sa plus grande longueur a environ 40 km et dans sa plus grande largeur environ 25 km. Le mouvement d'accroissement de la population dans cette région est énorme ; certaines communes ont vu le nombre de leurs habitants doubler en moins de vingt ans ; nous reviendrons plus tard en détail sur ce point, mais dès aujourd'hui, il nous suffira de citer quelques chiffres, relatifs à Paris et au département de la Seine qui ne forment qu'une partie des territoires desservis.

La densité de population, à Paris, est plus grande que dans toutes les autres villes du monde : elle est de 324 habitants par hectare, correspondant à 2 511 955 personnes réparties sur une superficie de 7802 hectares. Elle s'élève à plus de 1 000 dans certains quartiers. Or, voici quelle est sa valeur moyenne dans les autres grandes villes :

Berlin	250	habitants	par hectare
New-York	160	»	»
Londres	150	»	»
Saint-Pétersbourg	115	»	»
Chicago	35	»	»
Philadelphie	33	»	»

De 2 344 550 en 1886, la population parisienne a passé à 2 511 955 en 1896 ; c'est un accroissement de 7,1 p. 100 en dix ans.

L'accroissement des autres capitales, pendant une période égale est le suivant :

Chicago	106,5	p. 100
Berlin	37	»
New-York	33,3	»
Philadelphie	25	»
Londres	18	»
Saint-Pétersbourg	15	»

c'est-à-dire que la ville dont la croissance est la plus lente se développe deux fois plus vite que Paris.

Digitized by Google

Prenons maintenant la population du département de la Seine en entier et divisons-la en trois zônes :

Paris, quartiers centraux (les 10 premiers arrondissements) ;

Paris, faubourgs (les 10 derniers arrondissements) ;

Banlieue (département de la Seine moins Paris).

Nous verrons que les accroissements de population, de 1861 à nos jours, ont été, pour chaque division, de :

Quartiers centraux	6,5 p. 100
Faubourgs	108,3 »
Banlieue	210,1 »

Dans les communes de Seine-et-Oise desservies pour les nouveaux tramways, l'accroissement a été encore plus rapide.

La densité de population suit un ordre absolument inverse :

Quartiers centraux	438 habitants par hectare
Faubourgs	273 » »
Banlieue	20 » »

C'est la confirmation de la loi que nous énoncions plus haut.

Paris est « complet » tout comme un omnibus. Dans les faubourgs, la densité de population dépasse déjà 275 habitants par hectare, c'est-à-dire qu'elle est supérieure à celle de toutes les autres villes citées plus haut.

Un système de circulation active que rien ne vient entraver est aussi indispensable à ce grand corps social qu'à notre organisme vital ; à moins qu'on ne facilite les moyens de transports rapides à bon marché et confortables, la communication entre le cœur de la ville et ses extrémités sera insuffisante ; les conditions morales et physiques exigées pour la croissance normale de l'agglomération humaine ne seront pas réalisées.

Les pouvoirs publics l'ont bien compris et, dans les nouveaux cahiers des charges, ils ont autorisé des vitesses de marche beaucoup plus élevées que jadis.

Dans le même ordre d'idées, afin de faire profiter la population parisienne des plus grandes vitesses de marche et des départs plus fréquents que permettent les tramways électriques, afin, aussi, d'uniformiser le système de traction, de permettre la pénétration directe depuis la périphérie jusqu'au centre, les compagnies formées pour l'exploitation des nouvelles concessions ont racheté d'anciens réseaux qu'elles vont équiper électriquement. Lorsque cette transformation sera effectuée, que les lignes concédées ou demandées seront établies, environ 500 km de tramways électriques réuniront la capitale avec ses environs. Une grande partie de ses lignes seront établies en double voie. Certaines lignes ont leur terminus à 25 km du centre de Paris.

La majeure partie de ce réseau sera exploitée par quatre grandes compagnies nouvellement formées : les compagnies de l'Est-Parisien, de l'Ouest-Parisien, de la rive gauche et la compagnie des tramways mécaniques des environs de Paris (Nord-Ouest-Parisien). D'autres lignes, moins nombreuses, seront exploitées par d'autres compagnies : tramways Nogentais, compagnie générale parisienne des tramways, compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine, compagnie du tramway de Vanves, etc.

Depuis le 30 mars dernier, date où furent signés les premiers décrets de concession, les tramways de pénétration se sont organisés ; vers le mois de mars ou le mois d'avril prochain, un grand nombre de lignes seront mises en exploitation. Il a fallu s'approvisionner de matériaux, construire les voies, obtenir les voitures, édifier les usines génératrices.

Digitized by Google

C'est un véritable tour de force, surtout à cette époque où les ateliers de constructions sont surchargés de commandes et où la main-d'œuvre est difficile à obtenir.

Deux points sont surtout à retenir dans ces nouvelles installations ; ce sont les procédés de distribution du courant électrique aux voitures et les procédés de transmission de ce courant des usines aux lignes de distribution.

La Compagnie générale des tramways parisiens a adopté la distribution par caniveau souterrain latéral ; ses installations ont été décrites récemment dans ce journal.

Les autres compagnies ont résolu d'adopter la distribution par contact superficiel du système Diatto. C'est la première fois que ce mode de distribution recevra une application d'une telle importance. Quels résultats est-on en droit d'en attendre ? L'installation de Tours, qui a aussi été décrite dans *L'Éclairage Électrique*, fonctionne depuis dix mois. Aucun accident ne s'est produit et le service n'a subi aucune interruption. La durée quotidienne du service est en moyenne de quatorze heures par jour ; il y a un départ toutes les dix minutes dans chaque sens, soit une voiture toutes les cinq minutes sur la simple voie ; le dimanche les départs sont plus fréquents. Chaque commutateur a donc fonctionné, au minimum $10 \times 30 \times 14 \times \frac{60}{5} = 50\,000$ fois.

C'est une garantie suffisante pour affirmer que les résultats qu'on obtiendra à Paris seront satisfaisants.

L'organisation du service de la vérification des commutateurs est d'ailleurs rendue très facile et très effective par la rapidité avec laquelle ces commutateurs peuvent être enlevés et remplacés, ainsi que par l'indépendance absolue de chacun d'eux. Tous les jours et périodiquement, un certain nombre de commutateurs seront enlevés ; ils seront remplacés immédiatement par des commutateurs dont l'état aura été vérifié et ils seront emportés au dépôt pour y être examinés, nettoyés et réparés s'il est nécessaire. Le fonctionnement régulier de ces appareils sera ainsi assuré et la mise en communication permanente des plots avec les conducteurs d'alimentation, que la construction des commutateurs rend du reste à peu près impossible, sera évitée. Un frotteur supplémentaire qui interrompt le courant si cet accident venait à se produire sera d'ailleurs employé pour plus de sécurité.

En dehors de Paris, le trôlet aérien sera employé.

Passons maintenant aux dispositions adoptées pour la génération et la distribution de l'énergie. Elles sont caractéristiques de l'état actuel de l'industrie électrique et de la tendance qui s'affirme chaque jour davantage à concentrer en une même usine les machines génératrices de plus en plus puissantes et à faire la transmission par courants triphasés qui sont ensuite transformés dans des sous-stations suivant les applications.

A Paris, pour les quatre grandes compagnies nouvelles, pour le chemin de fer électrique des Invalides à Versailles, trois grandes usines seulement sont édifiées : une à Issy-les-Moulineaux, d'une puissance normale de 7 200 kilowatts, avec des groupes de 800 kilowatts chacun, alimentera le chemin de fer des Invalides à Versailles, le réseau de l'Ouest-Parisien, une partie du réseau de la Rive Gauche, le chemin de fer électrique et la plate-forme mobile de l'Exposition. Une autre, sise à Vitry (Port à l'Anglais) d'une puissance normale de 5 600 kilowatts, avec des groupes de 800 kilowatts chacun, alimentera le réseau de l'Est-Parisien et une partie du réseau de la Rive Gauche. Enfin, une usine située à Bezons alimentera le réseau du Nord-Ouest.

La transmission se fera par courants triphasés à 5 000 volts, qui seront transformés en courant continu à 500 volts dans des sous-stations placées aux centres de gravité des charges des différentes parties de chaque réseau.

Digitized by Google

Comme on voit, on a réduit le nombre des usines au minimum compatible avec la répartition des lignes entre plusieurs compagnies.

Quant à la puissance unitaire des groupes électrogènes, il est probable qu'elle aurait été choisie plus grande que 800 kilowatts si le temps mis à la disposition des concessionnaires pour la mise en exploitation des lignes n'avait pas été aussi limité, et n'avait obligé à adopter un type plus courant, dont on était certain d'obtenir la livraison dans les délais voulus.

C'est ainsi que l'usine génératrice du chemin de fer Métropolitain, sise au quai de la Rapée, sera composée de groupes d'une puissance normale de 1 500 kilowatts.

Aux États-Unis, où des compagnies plus puissantes existent, les usines génératrices prennent des proportions colossales. Ainsi, à New-York, trois grandes compagnies se partagent les transports en commun : la Metropolitan Traction Company et la Compagnie de la 3e Avenue, pour les tramways à la surface du sol et la Compagnie du Manhattan pour le Métropolitain ou chemin de fer élevé. Toutes trois ont résolu d'adopter la traction électrique. La première compagnie a aussi racheté le réseau d'éclairage électrique afin de concentrer dans une même usine la fabrication du courant et ainsi diminuer les frais d'exploitation.

Elle a fait dans ce but édifier au bord de la rivière, à la 96e rue, une usine qui ne comprendra pas moins de 11 groupes d'une puissance normale de 3 000 kilowatts, soit 4 000 chevaux et d'une puissance maximum de 6 600 chevaux, soit 5 000 kilowatts. Leur construction est telle qu'ils peuvent fournir constamment leur puissance maxima, mais avec un rendement moindre qu'à la charge normale. Le courant triphasé à haute tension sera transformé, dans des sous-stations, en courant continu à 500 volts pour les tramways et en courant continu de moindre tension pour l'éclairage.

L'économie qui résulte de ces dispositions est considérable ; elle est trop évidente pour que nous y insistions, ce qui d'ailleurs nous ferait sortir du cadre de cet article, mais nous citerons pour le mettre en relief les chiffres suivants relatifs à l'emplacement occupé par l'installation, chiffres qui se rapportent à la surface totale du plancher de l'usine.

Pour les groupes électrogènes	0,0507 m²	par cheval de puissance	normale
» »	0,0306 m²	»	»	maximum
Pour les chaudières (1).	0,2694 m²	»	»	normale
»	0,1682 m²	»	»	maximum

Les dépenses totales pour l'usine complète sont aussi réduites dans des proportions considérables.

Ce ne sont pas, d'ailleurs, les limites extrêmes que l'on peut atteindre.

La compagnie du Manhattan fait édifier une usine qui comprendra 8 groupes ayant chacun une puissance normale de 5 000 kilowatts, soit 6 600 chevaux et dont la puissance maximum atteindra 10 000 chevaux !

Nous sommes loin des débuts, pourtant si récents, de l'industrie électrique où les usines génératrices étaient composées d'une multitude de petites dynamos entraînées par une forêt de courroies.

L'avenir est à ces méthodes de fabrication et de transmission qui ne feront que se généraliser, non seulement dans les grandes villes, mais encore dans les régions moins peuplées où elles permettront des applications imprévues.

L'année qui vient de finir marque, à ce point de vue, le début d'une ère nouvelle.

G. PELLISSIER.

(1) Les chaudières sont disposées en trois étages superposés. La superficie du sol occupée est donc trois fois moindre.

***

Digitized by Google

ACCUMULATEURS POUR AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

LE CONCOURS INTERNATIONAL DE L'AUTOMOBILE-CLUB(1)

II. — Description des batteries ayant pris part au concours

Les 17 batteries qui ont participé aux essais appartiennent toutes à la famille des accumulateurs plomb plomb, mais elles peuvent être classées en trois catégories :

1° Eléments dans lesquels toutes les plaques sont à oxyde rapporté (modification Faure).

2° Eléments ayant comme positives des plaques à formation autogène (genre Planté) et des plaques négatives à oxyde rapporté comme dans la catégorie précédente.

3° Eléments à oxyde rapporté retenu par un support ou quadrillage en plomb doux et susceptibles par conséquent de fonctionner comme les plaques à formation autogène de la catégorie précédente à un moment donné de leur vie.

A la première catégorie appartiennent les batteries n°s 7, 8, 9, 11, 12, 13, 16, 17, 19 et 22 (voir tableau). C'est de beaucoup la plus importante. Le poids étant un facteur intéressant dans l'accumulateur traction, on conçoit que les efforts des constructeurs se soient surtout portés sur la modification Faure qui à capacité initiale égale permet sans contredit d'obtenir une plus grande légèreté.

La deuxième catégorie comporte seulement 4 batteries, les n°s 1, 3, 4 et 10.

Quant à la troisième catégorie qui, au point de vue poids, peut rivaliser avec les batteries de la première, elle n'est représentée que par les batteries n°s 2, 18 et 23.

Nous décrirons les batteries sans nous inquiéter de cette classification en commençant par celles dont les résultats sont consignés dans le tableau n° III (p. 61 et 62 du n° du 13 janvier) faisant partie du procès-verbal de M. Hospitalier et dans l'ordre où elles figurent sur ce tableau, c'est-à-dire suivant celui de leurs numéros d'inscription; nous adopterons le même ordre pour la description des autres batteries.

N° 1-F. — Accumulateurs de la Société pour le travail électrique des métaux (2)

Plaques. — Les plaques de cet élément sont de types différents : la positive est à formation autogène Planté et la négative à oxyde rapporté. L'élément appartient donc à cette catégorie mixte dont nous avons parlé ci-dessus.

La plaque positive (fig. 1) est formée par la superposition d'un grand nombre de rubans

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 13 janvier, p. 57.

Rectifions quelques erreurs qui se sont glissées dans le dernier article :

La similitude des noms de deux compagnies s'occupant de la fabrication des compteurs a créé une confusion; celle qui, à titre gracieux, a prêté les compteurs nécessaires aux opérations du concours, est la *Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usine à gaz.*

Dans le tableau de la page 62, lire 0,8 cm pour l'épaisseur des plaques positives Tudor et 1080 pour le nombre des plaques de l'élément Phénix.

Réparons maintenant une omission en mentionnant que toutes opérations du concours, comprenant les charges et décharges ainsi que la lecture et la vérification des appareils de lecture ont été faites sous la direction de M. Bainville, par MM. H. Louvet et F. Prat.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 545, 31 décembre 1898.

Digitized by Google

de plomb doux ondulés (120) ayant une épaisseur de 0,5 mm et une largeur de 8 mm. Ces rubans sont enfilés sur deux tiges de plomb qui sont légèrement soudées à chaque extrémité sur les rubans extrêmes. A l'endroit où les tiges traversent les rubans, ceux-ci sont renforcés sur une longueur de 6 mm environ de façon à prévenir l'écrasement des ondulations en maintenant un écartement convenable entre les rubans successifs.

Pour donner à la plaque la rigidité nécessaire et en même temps assurer la répartition du courant, les extrémités des rubans qui constituent les côtés latéraux de la plaque sont noyées dans une soudure qui est plus forte du côté correspondant à la queue de la plaque. Cette queue forme le prolongement de la soudure dont nous venons de parler.

La surface active de cette plaque est d'environ 25 dm²; la surface totale active de l'élément qui comporte 7 plaques semblables est donc d'environ 175 dm². Au débit de 120 ampères heure, chaque décimètre carré de surface donne donc normalement 0,7 ampère-heure.

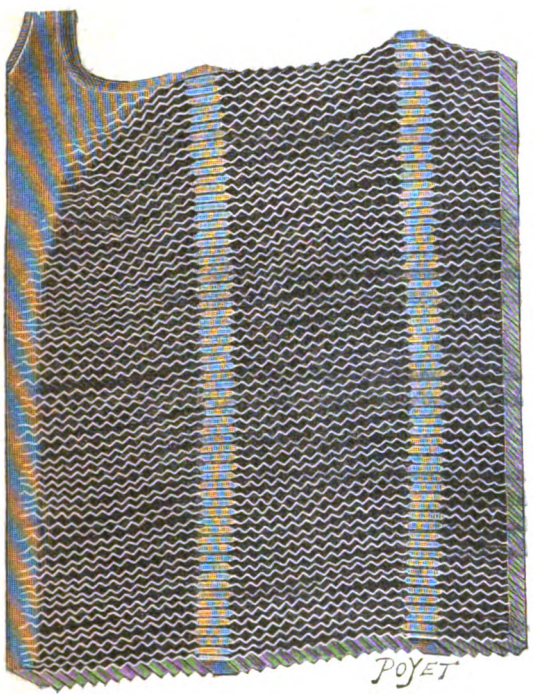


Fig. 1. — Plaque positive.

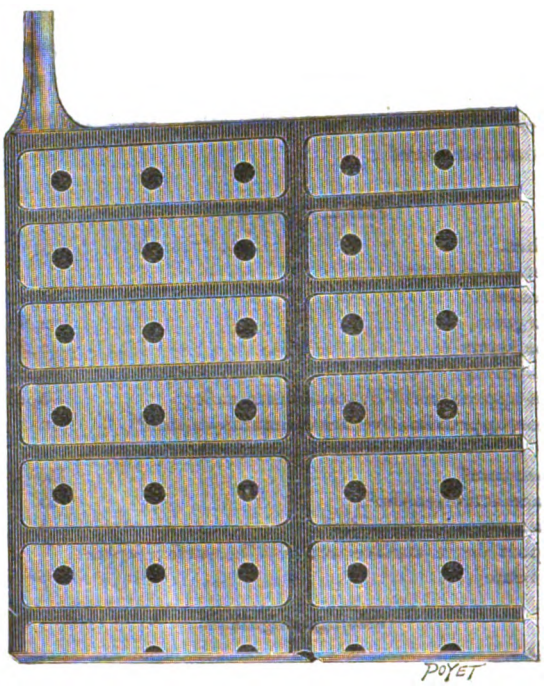


Fig. — Plaque négative.

La plaque négative (fig. 2) est du type connu des plaques à chlorure. Elle est obtenue comme on sait par coulage d'un cadre de plomb autour d'une série de pastilles de chlorure de plomb.

La plaque comporte huit grandes pastilles, quatre de chaque côté d'une large séparation verticale. Chacune de ces pastilles d'une longueur de 56 mm sur une largeur de 50 mm environ est percée de 9 trous et recouverte sur chaque face de deux bandelettes de plomb qui s'étendent du cadre extérieur à la séparation centrale. Ces bandelettes sont réunies métalliquement deux par deux au travers de la plaque.

La forme des pastilles est telle qu'elles se trouvent encastrées dans le quadrillage obtenu par coulage du plomb autour des pastilles. Le support des pastilles est apparent et la plaque terminée présente une surface bien unie.

Digitized by Google

La queue de connexion de la plaque négative est venue de fonte avec le support et est placée à un des angles supérieurs de la plaque.

Montage. — Le montage ne présente rien de particulier; les queues de connexion des plaques de même polarité sont soudées à une barre de connexion qui porte la prise de courant. Les plaques sont isolées entre elles par des feuilles d'ébonite, ondulées et perforées et elles reposent au fond du bac sur un tasseau en ébonite.

Electrolyte. — L'électrolyte employé est de l'acide sulfurique de densité 1,22, contenant environ 1 33o de gz H^2SO^4, c'est-à-dire près de *trois* fois la quantité théoriquement nécessaire pour la capacité de 120 amp.-h (438,2 gr). La densité tombe, de 1,241 au début, à 1,161 en fin de décharge.

Bac. — Le bac est en ébonite unie d'environ 4 mm d'épaisseur, il est fermé par un couvercle en 2 pièces qui laisse passer les prises de courant et porte une ouverture pour le dégagement gazeux à la charge. Ce couvercle est facilement amovible et permet d'inspecter les plaques aisément.

Les dimensions, poids, etc., des diverses parties de la batterie sont indiqués dans le tableau suivant :

Plaques positives.	
Nombre	7
Dimensions en cm :	
Hauteur	20,2
Largeur	12,2
Épaisseur	0,8
Poids en kg	1,11
Poids approximatif des montants en kg	0,15
Section approximative des montants en mm²	30
— de la queue de connexion en mm²	30
Surface active en dm²	25
Surface apparente en dm²	5
Rapport de la surface active à la surface apparente	5
Plaques négatives.	
Nombre	8
Dimensions en cm :	
Hauteur	20,2
Largeur	12,2
Épaisseur	0,4
Poids en kg	0,5
Poids approximatif du cadre en kg	0,25
Section approximative du cadre en mm²	14
— de la queue de connexion en mm²	22
Poids de la matière active en kg	0,25
Écartement des plaques en mm	4
Bac et connexions.	
Dimensions extérieures en cm	?
Hauteur	20
Longueur	13,7
Largeur	18,3
Electrolyte.	
Poids en kg	4,9
Volume approximatif en dm³	3,7
Densité :	
Fin de charge	1,22
Fin de décharge	1,16
Poids total de l'élément complet en kg	19,1

N° 2-L Pollak. — Accumulateurs de la compagnie générale électrique

Plaques. — Les 2 plaques de cet élément sont obtenues par un même procédé. Elles appartiennent à la troisième catégorie d'éléments qui se rattachent à la fois au genre à oxyde rapporté et à celui à formation autogène.

La plaque est constituée par une feuille de plomb doux de 5 mm environ d'épaisseur, façonnée mécaniquement pour en augmenter la surface et y créer une série d'aspérités destinées à retenir la matière active qu'on y rapporte. Ce façonnage consiste à arracher les deux faces de la feuille de plomb en soulevant un grand nombre de languettes à sa surface. Pendant ce travail, on ménage sur la surface une série de bandes disposées dans le sens de la largeur et dans celui de la hauteur de la plaque de telle sorte que la plaque se trouve divisée sur chacune de ses faces en 30 portions égales présentant des arrachements, séparées par ces bandes lisses. Après cette opération la plaque est empâtée et comprimée

Digitized by Google

de façon à rabattre les languettes soulevées dans la matière active. La plaque terminée est unie et porte à sa partie supérieure une large queue de connexion.

Montage. — Les plaques de même polarité sont réunies par une barre de connexion qui porte la prise de courant. Elles sont isolées entre elles par des lames d'ébonite perforées portant des nervures dans deux directions perpendiculaires ; ce sont ces nervures qui maintiennent l'écartement des plaques.

Les plaques ne reposent pas directement dans le fond du bac ; elles sont supportées par deux pièces en ébonite ayant à leur partie supérieure une série de rainures en nombre égal à celui des plaques. Ces supports d'une hauteur de 4 cm environ sur une épaisseur de 1,5 cm portent à chaque bout une rainure qui vient s'engager dans une languette fixée aux parois latérales du bac. Ce dispositif est destiné à empêcher les supports de se déplacer quand on introduit les plaques dans le bac. Ces supports sont en outre évidés à leur partie inférieure de façon à ne gêner en rien la circulation de l'électrolyte.

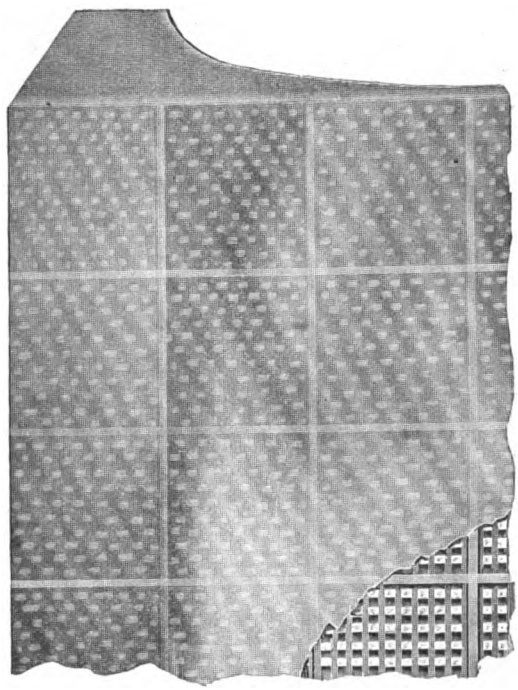


Fig. 3. — Plaques positive et négative.

Electrolyte. — Le volume normal (3 dm³) de l'électrolyte pris à la densité de 1,22 représente un poids de 1036 gr d'acide libre (SO^4H^2).

Bac. — Le bac est en ébonite unie ; à l'intérieur comme nous verrons de le voir sont fixées deux languettes ; sa fermeture est tout à fait spéciale : elle comporte deux couvercles en ébonite superposés séparés l'un de l'autre par une pièce de bois en forme d'U. Le couvercle inférieur vient presque toucher l'électrolyte. Quant au couvercle supérieur il est retenu par deux tasseaux en bois qui viennent buter contre une traverse fixée à la caisse de groupement.

Le tableau suivant donne les dimensions, poids, etc., des diverses parties de l'accumulateur.

Plaques positives.	
Nombre	6
Dimensions en cm² :	
Hauteur	18
Largeur	17
Épaisseur	0,5
Poids en kg	1,25
Poids approximatif du support en kg	1,15
Section approximative de la queue de connexion en mm²	80
Poids de la matière active	0,1
Plaques négatives.	
Nombre	7
Dimensions en cm :	
Hauteur	18
Largeur	17
Épaisseur	0,5
Poids en kg	1,15
Poids approximatif du support en kg	1,05
Section approximative de la queue de connexion en mm²	80
Poids de la matière active	0,1
Bac et connexions.	
Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	28,5
Longueur	14
Largeur	18,5
Poids du bac en kg	1,51
Poids des séparations isolantes des plaques en kg	0,57
Electrolyte.	
Poids en kg	3,5
Volume approximatif en dm³	3
Densité :	
Fin de charge	1,22
Fin de décharge	1,14
Poids total de l'élément complet en kg	22

Digitized by Google

N° 3-K Tudor. — Accumulateurs de la Société Tudor

Plaques. — Les plaques de cet élément sont de fabrication différente : l'élément appartient à la deuxième catégorie.

La plaque positive (fig. 4) est à formation autogène ; c'est une plaque de plomb doux fondu formée d'une série de lamelles superposées, retenues par un cadre extérieur et auxquelles le courant est distribué par un certain nombre de cloisons placées dans un sens perpendiculaire à la direction des lamelles.

Les lamelles sont au nombre de 140 ; elles ont comme longueur la largeur de la plaque et comme largeur, son épaisseur, et elles sont disposées dans le sens de la largeur de la plaque.

Les cloisons placées dans le sens de la hauteur de la plaque sont au nombre de 17, et

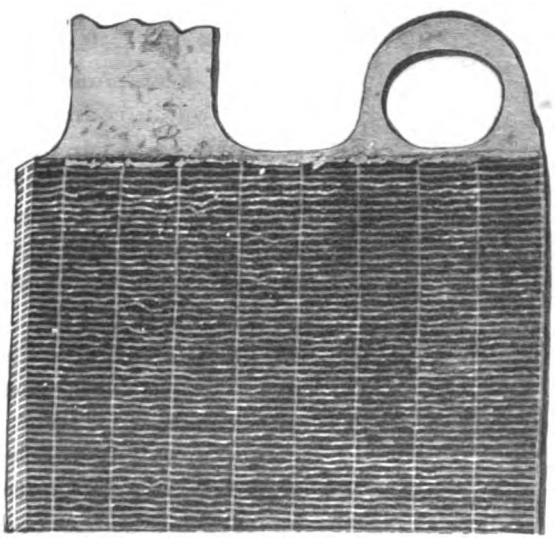


Fig. 4. — Plaque positive.

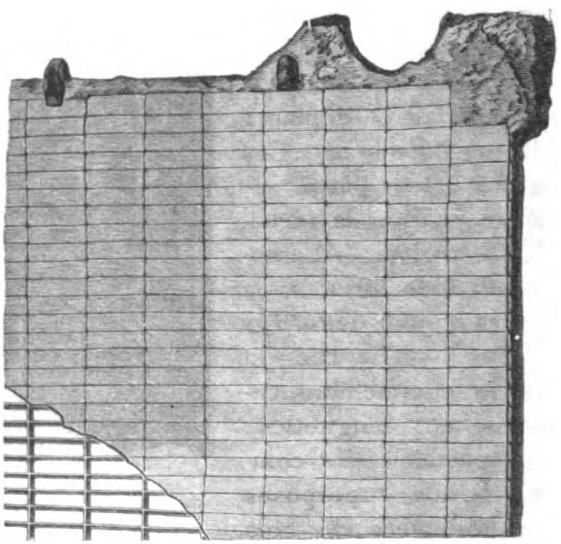


Fig. 5. — Plaque négative.

deux d'entre elles ont une épaisseur plus grande, de telle sorte que la plaque se trouve divisée en trois bandes verticales par deux cloisons et que chacune de ces bandes est divisée à son tour en six autres, n'ayant pas plus d'un centimètre de largeur. Ce cloisonnement des lamelles assure la répartition du courant.

La portion supérieure du cadre porte, à sa partie centrale, une queue de connexion très robuste et sur chaque extrémité, un anneau dont nous verrons l'utilité au montage.

Les deux angles inférieurs de la plaque sont coupés de façon à obtenir une échancrure rectangulaire de 30 mm de hauteur et de 10 mm de largeur.

La plaque a une surface active d'environ 24 dm^2 ; avec ses cinq plaques, la surface active totale de l'élément est donc d'environ 120 dm^2. Pour une capacité totale de 120 A.h., chaque décimètre carré fournit donc 1 A.h.

La plaque négative (fig. 5) est un grillage empâté de matière active.

Le grillage est en plomb antimonié ; il est formé de 900 cellules environ ayant 3 mm dans le sens de la hauteur de la plaque et 10 mm dans celui de la largeur. Les cellules sont réparties en 16 rangées verticales. Un cadre entoure complètement le grillage ; la partie supérieure du cadre porte des projections rectangulaires situées à chaque angle sur les côtés latéraux desquels on soude les barres de connexion de telle sorte que le courant

Digitized by Google

arrive à la plaque de chaque côté ; cette partie du cadre porte, en outre, des petites saillies symétriquement disposées qui sont destinées à retenir les isolants séparant les plaques.

L'empâtage ne laisse apparaître que le cadre.

Montage. — Les six plaques négatives sont rendues solidaires par les deux bandes de connexion dont nous parlons ci-dessus et par deux autres bandes identiques soudées symétriquement à la partie inférieure. Dans ce bloc, on intercale les cinq positives qui viennent reposer sur le bloc des négatives à l'aide de deux tiges cylindriques en ébonite, que l'on engage dans les oreilles que portent les positives; de cette façon, la dilatation de ces dernières plaques n'est entravée en rien. L'ensemble repose sur deux tasseaux en ébonite, fixés au fond du bac ; mais les plaques négatives seules appuient sur ce tasseau. Les échancrures dont nous parlions en décrivant les plaques positives, ont pour but d'éviter le contact de ces plaques avec les bandes de plomb qui réunissent les négatives par le bas.

L'isolation des plaques de polarité contraire est assurée par des baguettes en verre en forme d'Ω retenues en place par les saillies venues de fonte sur les cadres des plaques négatives.

Electrolyte. — Il y a environ 800 gr. d'acide libre (SO^4H^2) dans chaque élément. Le niveau du liquide ne s'élève pas normalement au-dessus des plaques.

Bac. — Le bac est en ébonite, de 3 mm d'épaisseur ; il porte à sa surface extérieure une série de saillies en forme de gouttes destinées à éviter le coïncement dans les caisses de groupement. A sa partie inférieure se trouvent placés à l'intérieur les deux épaulements sur lesquels repose le bloc des plaques négatives ; ces épaulements ont une saillie de 5 à 6 mm et une hauteur de 2 cm.

Les dimensions, poids, etc., des diverses parties de l'accumulateur sont indiquées dans le tableau suivant.

Plaques positives.

Nombre	5
Dimensions en cm :	
Hauteur	18
Largeur	16
Épaisseur	0,8
Poids en kg	1,8
Poids approximatif du cadre en kg	0,3
Section du cadre en cm^2	10
Section de la queue de connexion en cm^2	12
Surface active en dm^2	23,5
Surface apparente en dm^2	5,8
Rapport de la surface active à la surface apparente	4

Plaques négatives.

Nombre	6
Dimensions en cm :	
Hauteur	18
Largeur	16
Épaisseur	5
Poids en kg	1,16
Poids approximatif du cadre en kg	0,3
» de la matière active en kg	0,86
Section du cadre en mm^2, haut	7
» bas et côtés	5
Écartement des plaques en mm	5,5

Bac et connexions.

Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	27,5
Longueur	18,5
Largeur	15,5
Poids du bac en kg	1,99

Electrolyte.

Poids en kg	3
Volume approximatif en dm^3	2,5
Densité :	
Fin de charge	1,2
Fin de décharge	1,18
Poids total de l'élément complet en kg	21,5

N° 7-T Pescetto. — Accumulateurs de la Societa italiana di elettricita [1]

Plaques. — Les plaques de cet élément sont toutes deux du type à empâtage, la positive sur un support façonné plein, la négative sur un grillage.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 137, 28 octobre 1899.

Digitized by Google

Le support de la plaque positive (fig. 6) est en plomb antimonié fondu. La fabrication de ce support semble nécessiter une main-d'œuvre après démoulage ; c'est une plaque entourée d'un cadre de 4 mm d'épaisseur qui porte un certain nombre de nervures disposées dans le sens de la largeur ; ces nervures, au nombre de 49, constituent 50 augets de 2 mm de largeur sur 2 mm de profondeur ayant comme longueur la largeur de la plaque ; elles sont rabattues partiellement de façon à former sur chacune d'elles 42 griffes qui se projettent au-dessus des augets. La traverse supérieure du cadre se prolonge sur une longueur d'environ 12 mm de chaque côté des montants latéraux et cette traverse porte la queue de connexion.

La plaque négative (fig. 7) est un grillage entouré d'un cadre ayant 4 mm de largeur

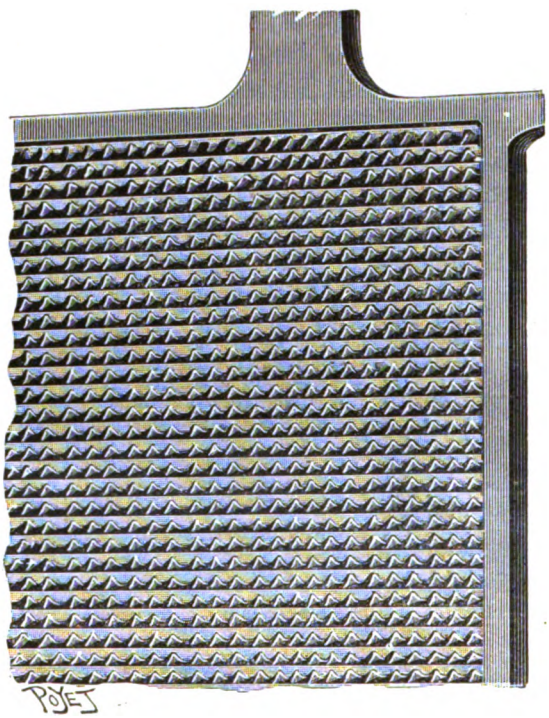


Fig. 6. — Plaque positive.

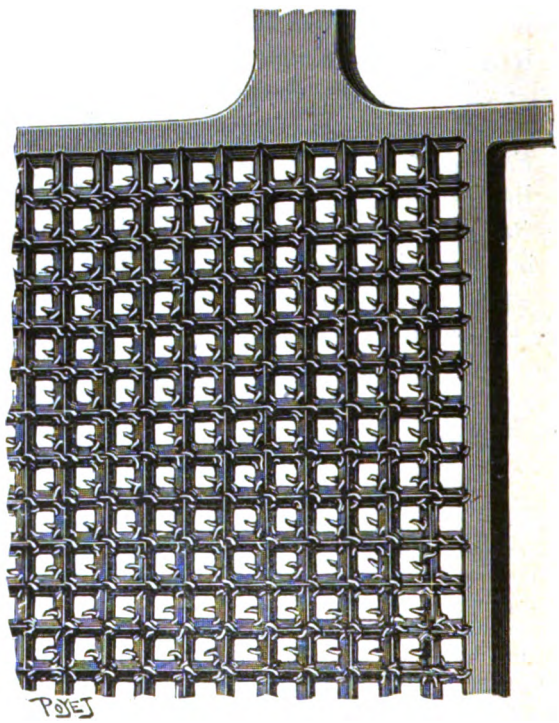


Fig. 7. — Plaque négative.

pour les montants latéraux et 5 mm pour les deux autres sur l'épaisseur de la plaque. Ce grillage comporte 399 ouvertures rectangulaires ; les barreaux qui le constitue ont une section en forme de losange et au point de croisement de ces barreaux les arêtes des losanges sont soulevées sur une faible longueur de façon à former 4 griffes qui viennent se présenter au dessus des ouvertures. Ces ouvertures ont une dimension moyenne de 5 mm de chaque côté. Comme dans la plaque précédente la partie supérieure du cadre déborde de 12 mm environ de chaque côté de la plaque et porte la queue de connexion.

Après l'empâtage toutes les aspérités que présentent les supports des plaques positives et négatives sont absolument enfouies dans la matière active, le cadre extérieur seul en émerge.

Montage. — Les plaques de même polarité sont soudées comme d'habitude à une barre de connexion qui porte la tige de prise de courant. L'isolement de ces plaques est assuré par

Digitized by Google

des feuilles d'ébonite ondulées et perforées. Leur écartement est maintenu sur les bords du bac par des baguettes en ébonite et dans l'intervalle par des écrous fixés de place en place sur les lames d'ébonite ; ces écrous sont destinés à amener en ces points l'épaisseur de la cloison à 6 mm qui est la distance à laquelle les plaques doivent se trouver l'une de l'autre.

Les plaques ne reposent pas dans le fond du bac ; elles sont toutes suspendues par le prolongement de leur montant supérieur.

Électrolyte. — La quantité normale d'électrolyte à la densité de 1 274 contient 1 336 gr d'acide libre (SO^4H^2).

Bac. — Deux des parois latérales opposées du bac sont droites, les deux autres parois sont coudées à angle droit à environ 7 cm du bord supérieur de façon à former de chaque côté un épaulement sur lequel on puisse faire reposer les prolongements des cadres dont nous avons parlé plus haut.

Le bac est fermé par un couvercle en ébonite très ouvragé qui emboîte la partie supérieure des parois et vient s'appuyer sur les bords. Ce couvercle est percé de 3 orifices, 2 pour le passage des prises de courant et 1 pour l'évacuation des gaz à la charge. Ce dernier est fermé par un bouchon de caoutchouc percé d'un trou. L'étanchéité autour des tiges de prise de courant est assurée par des bagues de caoutchouc. Le couvercle est renforcé autour de chacun des trous dont nous venons de parler.

Le tableau suivant donne les dimensions, poids, etc., de cet accumulateur.

Plaques positives.

Nombre	7
Dimensions en cm :	
Hauteur	15,8
Largeur	14,2
Épaisseur	0,6
Poids en kg	0,96
Poids du cadre en kg	0,7
Poids de la matière active en kg	0,26
Section du cadre en mm²	27
Section de la queue de connexion en mm²	84

Plaques négatives.

Nombre	8
Dimensions en cm :	
Hauteur	15,8
Largeur	14,2
Épaisseur	0,55
Poids en kg	0,9
Poids du cadre en kg	0,64
Poids de la matière active en kg	0,26
Section du cadre en mm²	25
Section de la queue de connexion en mm²	84,9
Écartement des plaques en mm	6

Bac et connexions.

Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	25,5
Longueur	20,5 et 16,5
Largeur	18,5
Poids du bac en kg	2
Poids des séparations isolantes des plaques en kg.	0,28

Électrolyte.

Poids en kg.	4
Volume approximatif en dm³	3,3
Densité :	
Fin de charge	1,25
Fin de décharge	1,21
Poids total de l'élément complet en kg.	21,2

A. BAINVILLE.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRACTION ÉLECTRIQUE

Quelques connecteurs de rails de tramways, par **J. Zalesky**.

Nous n'avons pas l'intention de donner une description de tous les connecteurs qui ont été essayés ou proposés ; ils sont trop nombreux. Nous nous bornerons à décrire quelques-uns d'entre eux qui ont reçu la sanction de la pratique.

En première ligne nous citerons le *connecteur Edison-Brown* (fig. 1, 2 et 3). Il se compose de

....

Digitized by Google

deux séries de plaques de liège rectangulaires en nombre suffisant pour remplir l'espace compris entre le rail et l'éclisse. Ces plaques sont

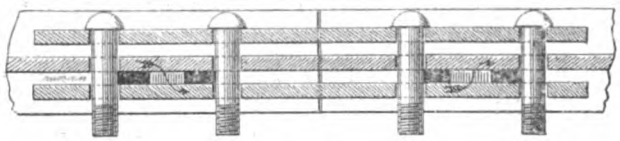


Fig. 1. — Connecteur Edison-Brown. Section horizontale a travers les éclisses, le rail et les connecteurs, montrant le circuit du retour.

percées d'ouvertures concentriques de telle façon qu'en les superposant on obtient une sorte de cylindre creux. C'est dans ce tuyau que l'on met un amalgame mou qui établit le contact électrique entre le rail et l'éclisse. On a soin, avant cette dernière opération, de nettoyer la surface du rail et de l'éclisse, à l'endroit des plaques de liège, avec un foret plat ou une lime courbe. On enlève soigneusement la limaille et on frotte les surfaces nettoyées avec un amalgame solide. Puis on procède à la pose des rondelles. Avec des rails de 50 kg le mètre courant on a pu faire passer un courant de 1500 ampères avec une chute de potentiel de 0,03 volt seulement, tandis qu'avec le meilleur connecteur en fil de cuivre de 16 mm de diamètre on a une résistance

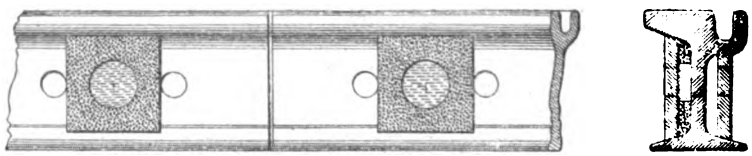


Fig. 2 et 3. — Vue latérale et section trsnsversale d'un connecteur Edison-Brown.

dix fois plus forte. Au point de vue de la conductibilité ce système donne par conséquent des résultats très appréciables. Nous lui voyons les inconvénients suivants : 1° la pose en est longue et délicate ; 2° il faut manipuler l'amalgame mou avec des manches en bois, car il est très toxique, et le tenir à l'abri de l'air, car il se décompose rapidement ; 3° un outillage assez compliqué.

Les autres connecteurs dont nous parlerons

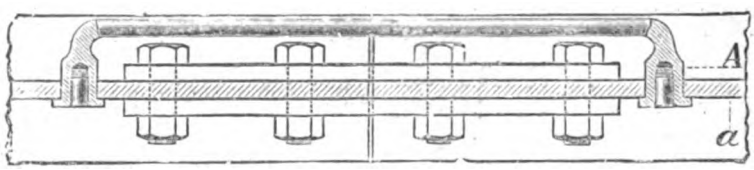


Fig. 4. — Connecteur à Chicago.

sont du type dit « solide ». Ils peuvent se diviser en deux catégories suivant qu'ils sont placés sur l'éclisse ou sous l'éclisse. Ceux qui sont placés sur l'éclisse sont beaucoup plus grands et peuvent être facilement changés. En revanche ils peuvent être facilement.... subtilisés comme cela est arrivé pour le tramway du bois de Boulogne. Ceux qui sont placés sous l'éclisse sont plus petits, et entièrement dissimulés. On ne peut y accéder qu'en enlevant le pavé.

Comme spécimen de la première catégorie nous citerons les *connecteurs* « *Chicago* » (fig. 4). Ils sont d'une seule pièce terminée par de larges têtes tubulaires que l'on fixe dans l'âme du rail en les enfonçant dans les trous percés à cet effet, puis en les dilatant contre les parois de ces trous au moyen de goupilles. Ce système donne un contact absolument parfait et solide entre les deux surfaces métalliques de la tête et du rail et exclut toute particule d'air ou de moisissure, rendant la corrosion ou l'électrolyse absolument impossible. Pour poser le connecteur Chicago, il est nécessaire d'avoir accès de chaque côté du rail, les têtes du connecteur étant enfoncées d'un côté du rail et les goupilles de l'autre côté.

On a obvié à cet inconvénient en construisant le type dit « *couronne* » (fig. 5), dans lequel les deux opérations de percement du rail et de fixation du connecteur peuvent s'effectuer d'un seul côté du rail. On voit immédiatement le grand avantage que l'on retire, spécialement

Digitized by Google

lorsqu'on a à remplacer les connexions. L'économie réalisée en enlevant l'asphalte ou le pavé

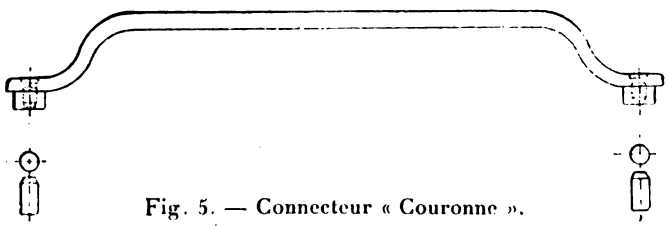


Fig. 5. — Connecteur « Couronne ».

d'un seul côté du rail couvre les frais d'achat des connecteurs.

Enfin pour satisfaire entièrement aux condi-

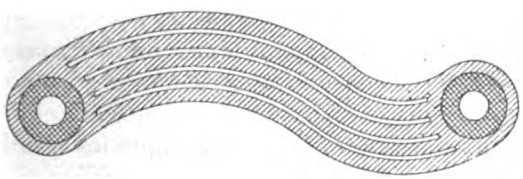


Fig. 9. — Connecteur Vedovelli.

tions de flexibilité, on a fait un troisième type de connecteur dit « *connecteur couronne flexible* ». Le corps de ce connecteur (fig. 6, 7, 8) est fait de fils se croisant l'un l'autre à angle tel qu'ils présentent toute sécurité au point de vue de la dilatation et de la contraction. Les deux extrémités de ce corps sont introduites dans des têtes en forme de pinces et pressées à chaud sous une pression de 350 kg : cm², de telle façon que si l'on scie une tête, l'examen montre que les fils du connecteur ont perdu leur identité ayant fait absolument corps avec la tête et formant une masse de cuivre parfaitement homogène. Le joint du corps aux têtes est très solide, car aux essais de rupture le corps du connecteur a été arraché au milieu par une force de 1698 kg, mais les attaches entre le corps et les têtes demeurèrent intactes. Ces connecteurs ont été employés avec succès par la Compagnie française de tramways (Marseille, Nancy, Orléans), par la Compagnie industrielle de traction (Reims, Tours, Orléans), par la Société alsacienne (Paye).

Il nous reste à citer encore le connecteur Vedovelli, qui nous paraît réunir tous les désiderata. Il a l'avantage d'être d'une homogénéité parfaite étant d'une seule pièce et en même temps il satisfait à la condition de flexibilité. Il se compose d'une plaque de cuivre (fig. 9) affectant légèrement la forme d'une S, et munie de deux têtes de connexion à ses extrémités. Pour assurer la flexibilité on a pratiqué dans le corps de la plaque des traits à la scie. Ces traits affectent aussi la forme d'une S. et sont en nombre suffisant. C'est comme si l'on avait un certain nombre de fils reliés à leurs deux extrémités à des têtes, mais avec cet avantage que le tout est d'une seule pièce sans qu'il puisse y avoir vice de construction.

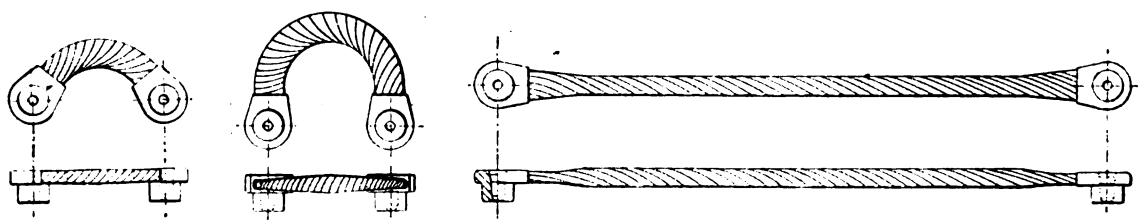


Fig. 6 à 8. — Connecteurs « Couronnes » flexibles.

Jean Zaleski,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

TÉLÉGRAPHIE-TÉLÉPHONIE

Détermination rapide et sur place de la position d'une perte dans un câble terrestre. Méthode de M. Barbarat, par **J. Garraud**. *Annales télégraphiques*, t. XXV, p. 289-295.

Il y a une quinzaine d'années M. E. Gerard a proposé le procédé suivant pour reconnaître la position d'un défaut d'isolement dans un câble sous plomb : On relie l'âme du câble à l'un des pôles d'une pile par l'intermédiaire d'un interrupteur rotatif; l'autre pôle de la pile est connecté à l'armature; l'interrupteur étant mis en mouvement on fait glisser le long de l'armature une bobine reliée à un téléphone et dont le plan des spires est maintenu parallèle au câble. Tant que la bobine est dans la région située en deçà

Digitized by Google

du défaut d'isolement, le courant pulsatoire qui se ferme par ce défaut fait naître des courants induits dans la bobine et la membrane téléphonique entre en vibration ; quand la bobine a dépassé le défaut le téléphone reste muet.

Cette méthode donne la position du défaut avec une grande exactitude lorsqu'il n'y a qu'un seul câble ; elle ne réussit pas lorsque le câble défectueux fait partie d'un faisceau de câbles comme c'est le cas des câbles sous plomb du réseau téléphonique et télégraphique de Paris qui sont groupés en paquets soutenus par des crochets ou déposés dans de grosses gaines en tôle de fer placées dans les égouts. Dans ces conditions le son donné par le téléphone ne cesse pas lorsqu'on a franchi le défaut ; de plus il se manifeste quel que soit le câble suivi par la bobine. Cela tient évidemment à ce que le courant se ferme entre la perte et le second pôle de la pile par l'ensemble des enveloppes métalliques du faisceau de câbles.

M. Barbarat, ingénieur des télégraphes, est parvenu à tourner ces difficultés. On commence par déterminer par les procédés ordinaires la section de la ligne dans laquelle se trouve le défaut ; on isole cette section et par les mêmes procédés on reconnaît approximativement la position du défaut. Cela fait, on détache du faisceau la portion du câble défectueux comprise entre le défaut et l'extrémité la plus proche de celui-ci, et l'on suspend cette portion de câble au moyen de ruban tanné. On connecte alors l'extrémité du fil la plus éloignée du défaut au pôle négatif d'une pile par l'intermédiaire d'un interrupteur rotatif, l'armature au pôle positif et on promène une bobine (formée de 1 700 à 1 800 tours de fil de 0,3 mm, et d'une résistance de 200 ohms) le long de cette section du câble. Dans ces conditions la position exacte du défaut peut être décelée aussi facilement que si le câble était séparé du faisceau sur toute sa longueur.

Mais il n'est pas toujours possible d'isoler ainsi une portion plus ou moins longue du câble à essayer. On peut cependant, mais avec plus de difficultés, déterminer encore la position du défaut, grâce à la remarque suivante de M. Garraud : quand on déplace la bobine depuis la pile jusqu'au défaut, l'intensité du son donné par le téléphone passe par une série de maximum séparés par des minimum ; quand la bobine a dépassé le défaut l'intensité du son diminue d'une manière continue. L'explication du phénomène est d'ailleurs très simple : le fil suit, dans l'intérieur du câble, une hélice dont le pas est régulier, tandis que la bobine suit une génératrice du tube en plomb formant enveloppe ; cette bobine se trouve donc successivement à des distances variables du fil qui transmet le courant en deçà du défaut ; d'où l'intensité rythmée observée sur cette portion du câble ; au delà du défaut le rythme doit cesser puisque, le courant ne suivant plus le fil, la cause de ce rythme a disparu. La détermination de la position du défaut revient donc à déterminer l'endroit où le son rythmé est remplacé par un son d'intensité régulièrement décroissante. J. R.

Conducteurs téléphoniques en aluminium, par **Massin**. *Annales télégraphiques*, t. XXV, p. 200-204.

Dans cette note, l'auteur indique les résultats des essais faits au Service de la vérification du matériel des Postes et Télégraphes sur des conducteurs téléphoniques en alliage d'aluminium.

Le tableau ci-dessous donne les éléments de comparaison entre cet alliage et le bronze silicieux généralement employé jusqu'ici.

	Alliage d'aluminium	Bronze silicieux
Densité	2,8	8,9
Charge de rupture par mm².	28 kg	75 kg
Conductibilité	48 p. 100	41 p. 100
Rapport de la charge de rupture au poids kilométrique.	10	8,3
Prix du kilogramme	5,00 fr	2,85 fr

A section égale un fil de l'alliage pèse donc trois fois moins qu'un fil en bronze, coûte moins cher, conduit mieux et peut se tendre en ligne avec des flèches moindres. Depuis deux ou trois ans on est en possession d'une soudure permettant de raccorder entre elles les couronnes. Enfin cet alliage avait la réputation d'être inaltérable. On conçoit donc l'intérêt qu'il y avait à étudier son emploi pour la construction des réseaux téléphoniques.

Cette étude a montré que, conformément aux résultats obtenus par M. Ditte pendant qu'elle se poursuivait, l'aluminium et surtout les alliages d'aluminium et de cuivre sont beaucoup plus attaquables qu'on ne le croit généralement. Des fils de bronze d'aluminium de même section et de même longueur, pesant 1,440 gr ont

Digitized by Google

été plongés dans des éprouvettes contenant diverses dissolutions acides ou basiques à 10 p. 100 ; ils ont été au bout de 4 mois retirés des éprouvettes et les pertes de poids suivantes ont été constatées :

Avec le sel marin	0,019 gr
— l'acide acétique	0,024 »
— — sulfurique	0,341 »
— — azotiqui	0,444 »
— la potasse	0,859 »

Un sixième échantillon a été suspendu à l'extérieur contre la fenêtre d'un rez-de-chaussée à un endroit où il n'était cependant pas exposé à la fumée. Son poids s'est augmenté de 0,058 gr, ce qui correspond à la transformation de 0,031 gr d'aluminium en alumine.

L'étude des qualités physiques du métal est encore venue ajouter de nouveaux faits pour écarter l'emploi du fil de bronze d'aluminium en téléphonie. Il résulte de cettte étude, effectuée, en 1899, au laboratoire de l'école des Ponts et Chaussés, que le fil dit d'aluminium a un coefficient de dilatation de 0,000023 et un coefficient d'élasticité de 0,00012, alors que pour le fil de bronze employé actuellement sur les réseaux téléphoniques on trouve respectivement, 0,000017 et 0,00007.

Si l'on porte ces valeurs dans la formule

$$\theta = \frac{a^2 M^2}{24\ \alpha}\,(n'^2 - n^2) + \frac{\varepsilon q}{\alpha}\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n'}\right)$$

où n et n' représentent les coefficients de sécurité à une certaine température et à une température de θ degrés plus élevée, α le coefficient de dilatation, ε le coefficient d'élasticité, a la portée d'un fil tendu entre deux appuis, q sa charge de rupture par mm² et enfin M le quotient de la densité du métal par $1000q$, on trouve pour une portée de 75 m les valeurs du coefficient de sécurité indiquées par les deux courbes de la figure 1.

On voit par l'examen de ces courbes que si l'on part à — 20° (température qu'on peut considérer comme un minimum) d'un coefficient de sécurité de 3,5, au-dessous duquel on ne saurait prudemment descendre, les fils de bronze atteignent à + 40°, un coefficient de 7,5 qui leur assure, ainsi que l'expérience l'a prouvé, une tension suffisante. Avec les fils dits d'aluminium au contraire, il suffit d'une élévation de température de 27° pour atteindre ce coefficient ; à + 40° ce coefficient de sécurité s'élèverait à 15,25 et le fil tomberait à une tension de 1,64 kg par mm².

En admettant, dit en terminant M. Massin,

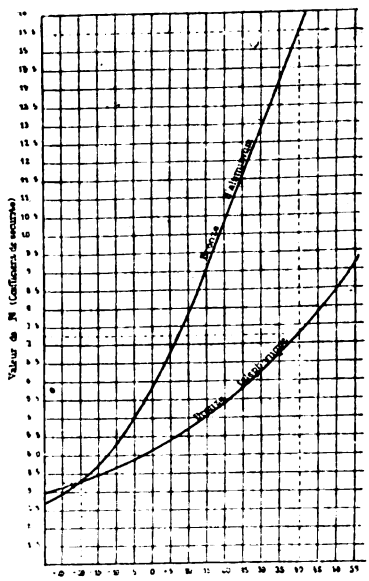


Fig. 1.

que la facilité des mélanges avec des tensions aussi faibles ne soit pas une cause absolue d'exclusion, on voit qu'à ces températures de 30° à 40° le fil dit d'aluminium perd les avantages que semblait lui donner dans la construction des réseaux sur les toits, le rapport élevé de sa charge de rupture à son poids kilométrique, et que sa flèche, qui à — 20° n'était que de 23 centimètres comme pour les fils de bronze, devient supérieure à + 40°, 108 centimètres au lieu de 63 centimètres. Il ne semble donc pas, pour le moment, que soit au point de vue physique, soit au point de vue chimique, on puisse songer à l'emploi sur les réseaux téléphoniques d'un alliage d'aluminium du genre de celui que nous venons d'examiner.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Recherches spectrophotométriques sur l'arc continu, par **Lehmann-Richter,** *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVII, p. 539, 22 octobre 1899.

Dans un arc normal, c'est-à-dire silencieux, on distingue trois parties : 1° une auréole presque entièrement teintée de vert ; 2° une enve-

Digitized by Google

loppe sombre qui entoure l'auréole ; 3° le noyau brillant de l'arc bleu-violet.

Il existe de nombreux travaux sur la force contre-électromotrice et la répartition du courant dans l'arc, notamment de L. Arons, Cross, Edlund, Fleming, Hittorff, Uppenborn, Peukert, Silv. Thompson, etc. Mais il n'existe encore aucune recherche sur la façon dont la lumière est produite par les trois parties de l'arc. On se propose de donner ici quelques indications à ce sujet.

On s'est servi de charbons homogènes et à mèches de 11, 13 et 15 mm de diamètre. L'enveloppe des charbons à mèche a été trempée dans une solution de chlorure de sodium sous le vide et ensuite séchée. L'âme contenait une certaine quantité de chlorure de sodium, dans les proportions 1 : 2, 1 : 5, 1 : 10.

Pour les expériences on s'est servi d'une source (accumulateurs), d'un ampèremètre, d'un voltmètre, d'un rhéostat, deux porte-charbons et une lentille pour projeter l'image de l'arc dans le spectro-photomètre de Glan. Si l'on désigne par α_1 la position du nicol où les deux champs paraissent également éclairés, par α_0 celle où la plage inférieure est obscure, on a :

$$i.\, a \sin^2 (\alpha_1 - \alpha_0) = i'\, a' \cos^2 (\alpha_1 - \alpha_0),$$

ou

$$\frac{i}{i'} = \frac{a'}{a} \operatorname{cotg}^2 (\alpha_1 - \alpha_0)$$

où i et i' représentent les quantités de lumière tombant respectivement sur chaque plage, a et a' des constantes caractérisant l'absorption lumineuse. Si dans une position α' du nicol les deux champs paraissent également éclairés, on a :

$$\frac{a'}{a} = \operatorname{tg}^2 (\alpha' - \alpha_0)$$

donc

$$\frac{i}{i'} = \operatorname{tg}^2 (\alpha' - \alpha_0) \operatorname{cotg}^2 (\alpha_1 - \alpha_0)$$

Pour comparer les trois parties de l'arc on a produit sur l'une des moitiés du champ l'image de l'une de ces parties, et sur l'autre moitié l'image de l'autre partie. Pour une radiation déterminée, on cherchait les positions du nicol α_1, α' donnant l'égalité des éclairements. On obtenait ainsi pour les différentes longueurs d'ondes $\lambda_1, \lambda_2 \ldots$ les rapports des intensités des trois parties de l'arc. Désignons par a, b et c ces trois parties.

Ces proportions entre les intensités ne s'appliquent pas aux parties a, b, c elles-mêmes, mais aux parties résultant de la superposition de a, $a + b$, $a + b + c$; pour la commodité du langage, ce sont ces parties composites que nous désignons par a, b, c.

On a fait notamment des essais sur les rapports entre l'intensité de c (bleu) et de b (sombre) dans la région moyenne de chacune de ces deux parties. Le charbon était homogène, d'un diamètre de 13 mm. La longueur de l'arc était de 6 mm ; l'intensité de 15 A, la tension de 56 V. Le rapport des intensités lumineuses variait avec la longueur d'onde. Ainsi pour $\lambda = 425$ on a comme rapports entre les intensités

$$b : a : c = 1 : 2{,}28 : 3{,}32$$

D'autres essais ont été faits sur des charbons à mèche de 13 mm de diamètre, dont l'une contenait 10 et 50 p. 100 de chlorure de sodium. Intensité = 13 A ; tension = 50 V. Longueur d'arc : 6 mm. Le rapport des intensités dans les différentes parties de l'arc diminue quand la proportion de sel augmente. Le rapport entre les intensités de a et b est de 21 avec 10 p. 100 de sel et seulement de 11 avec 50 p. 100, Dans ce dernier cas pour la longueur d'onde 425 on a :

$$b : c : a = 1 : 4 : 11.$$

De ces chiffres il résulte que l'intensité lumineuse des raies ou sodium est maxima dans la partie externe a, moins grande dans la partie bleue c, et minima dans la partie b.

E. B.

Lampes à incandescence Fessenden à filament électrolytique (1). Brevets américains n^os^ 638 837, 638 838, 638 839, 638 840, déposés le 25 août 1899, délivrés le 12 décembre, et n° 639 131, déposé le 7 août 1899, délivré le 12 décembre.

La quantité de lumière émise par un corps incandescent étant d'autant plus grande que la température du corps est plus élevée, il y a avantage dans les lampes à incandescence, à

(1) Faute de trouver une meilleure expression, nous adoptons le mot *électrolytique* pour qualifier la nature d'un filament formé d'une substance analogue à celle qui est employée dans la lampe de Nernst ; c'est d'ailleurs l'expression adoptée par Nernst lui-même.

Digitized by Google

porter les filaments à une température aussi élevée que possible. Mais alors, on rencontre dans le cas des lampes du genre Nernst, de grandes difficultés dans le montage des filaments, les attaches métalliques étant oxydées ou fondues. Dans les deux premiers de ces brevets le professeur Reginald A. Fessenden indique un moyen d'obvier à cet inconvénient.

Ce moyen consiste à former les extrémités du cylindre destiné à rayonner la lumière d'un mélange devenant conducteur à une température plus basse que la substance qui forme la partie centrale. De la sorte, quand le courant commence à traverser le cylindre, la quantité de chaleur dégagée par effet Joule, est par unité de longueur, plus faible vers les extrémités que dans la région centrale et, par conséquent, cette dernière région s'échauffe plus vite que les régions extrêmes; quand le régime permanent est atteint, celles-ci restent toujours plus froides et se trouvent à une température suffisamment basse pour ne pas fondre les attaches, tandis que la plus grande portion du cylindre est à une température suffisante pour avoir un rendement lumineux plus élevé.

Pour obtenir un mélange devenant conducteur à une température plus basse que la substance qui constitue le corps du cylindre, il suffit d'ajouter à cette dernière une certaine proportion d'un chlorure. Ainsi l'inventeur mentionne dans le premier brevet un mélange de 10 p. 100 de chlorure de magnésium et de 90 p. 100 de magnésie comme convenant très bien pour former des extrémités d'un crayon de magnésie ; on s'arrange de façon à avoir une proportion de chlorure de plus en plus grande vers les extrémités afin d'obtenir une décroissance régulière de la température du milieu aux deux bouts du cylindre. Dans le second brevet, M. Fessenden indique le graphite comme corps destiné à abaisser la température à laquelle la substance devient conductrice.

Comme attaches l'inventeur prend des fils métalliques enroulés en spirales sur les extrémités du cylindre.

Dans le troisième brevet, M. Fessenden décrit un ingénieux procédé d'allumage. On sait en effet que les crayons de magnésie ou autre substance semblable sont mauvais conducteurs à froid et doivent être chauffés pour que la lampe fonctionne. L'inventeur obtient ce chauffage préalable par le passage du courant dans une mince couche conductrice déposée à la surface du crayon au moment où l'on veut allumer la lampe. Dans ce but le bouton d'allumage porte un pignon engrenant avec deux roues montées l'une sur l'axe de la monture du rayon, l'autre sur un axe fileté. En tournant le bouton on fait donc tourner en même temps le rayon et l'axe fileté. Ce dernier communique un mouvement de translation à un bloc de matière conductrice que des légers ressorts pressent sur le rayon. Par suite la surface de contact du bloc et du cylindre décrit une hélice et, quand le bloc est à bout de course, le rayon se trouve recouvert, en raison du frottement, d'une couche (hélicoïdale ou continue suivant la grandeur de la surface de contact) de la matière conductrice arrachée au bloc. Le courant passe alors dans cette couche, échauffe le rayon et la lampe s'allume. Mais il faut que la couche conductrice disparaisse ou devienne mauvaise conductrice quand la lampe est allumée ; le graphite satisfait à la première condition parce qu'il brûle ; le bioxyde de manganèse satisfait, dit l'inventeur, à la seconde.

Le cinquième brevet décrit un dispositif d'allumage basé sur le même principe mais plus simple. Le crayon a la forme d'un demi-tore ; ses extrémités sont maintenues par deux petites tiges fixées à un axe perpendiculaire au plan du tore et passant par son centre ; cet axe se termine par le bouton d'allumage. Quand on tourne ce bouton on fait également tourner le crayon et celui-ci vient passer à frottement entre deux blocs de matière conductrice (graphite ou bioxyde de manganèse) ; deux bandes de cette matière se trouvent ainsi déposées d'un bout à l'autre du crayon et l'allumage se fait comme il a été expliqué plus haut.

Enfin le quatrième brevet (638 840) indique un dispositif maintenant constante la différence de potentiel entre les extrémités du crayon. Comme dans la lampe de Nernst, ce dispositif consiste en une résistance mise en série avec le crayon, résistance dont la valeur augmente quand la température s'élève, c'est-à-dire quand l'intensité du courant qui traverse la lampe augmente elle-même. (Voir *Éel. Elect.*, t. XXI, p. 439, 16 déc. 1899). Mais M. Fessenden choisit la substance constituant la résistance de manière que sa résistivité, à peu près cons-

Digitized by Google

tante tant que l'intensité est inférieure à la valeur normale, augmente *brusquement* dès que l'intensité dépasse tant soit peu cette valeur ; le plomb posséderait, paraît-il, cette propriété.

J. R.

Anodes Parent, Hargreaves et Stubbs. Brevet anglais, n° 9631, déposé le 8 mai 1899, accepté le 30 septembre 1899.

Ces anodes sont combinées de manière à empêcher la destruction des connexions qui servent à relier les anodes au conducteur positif de la dynamo. Ce but est atteint par divers détails de construction et principalement par l'emploi d'huile plus ou moins fluide qui, en s'écoulant peu à peu à la surface des pièces à protéger, mettent celles-ci à l'abri des détériorations résultant soit de l'électrolyse elle-même soit de la formation de sels grimpants le long des électrodes.

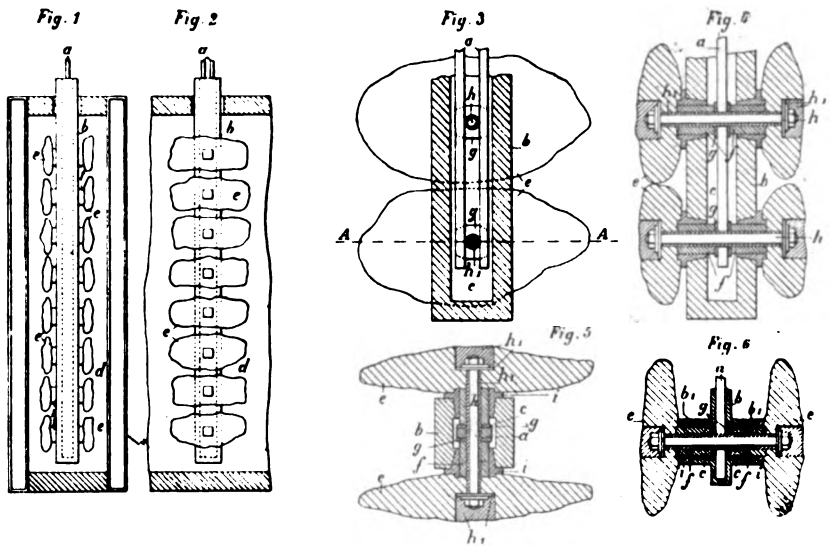


Fig. 1 à 6. — Élévations d'une anode (1 et 2). — Détail du dispositif de fixation des anodes (3 et 4). — Coupe de 3 par le plan AA (5). — Variante du dispositif de fixation (6).

Les figures 1 et 2 représentent la disposition adoptée pour les anodes verticales ; les figures 3 à 5 indiquent divers détails de construction. Le courant est amené par les conducteurs *a* enfermés dans un tube en matière isolante *b* ; l'intervalle *c* laissé entre les conducteurs et les parois de l'enveloppe est rempli d'huile. Les anodes *e* en charbon ou toute autre matière sont reliées aux conducteurs *a* par l'intermédiaire de blocs conducteurs *f* (en charbon par exemple) en contact, par l'une de leurs extrémités avec une plaque de métal mou (plomb) *g* appliquée contre le conducteur *a*, et par l'autre extrémité avec l'anode ; des boulons *h* maintiennent deux anodes opposées en produisant un serrage suffisant pour avoir de bons contacts ; ces boulons sont protégés par un revêtement isolant h_1. Les interstices entre le tube *b* et les blocs conducteurs *f* sont remplis d'un ciment isolant *i*. L'huile contenue dans le tube s'élève à un niveau suffisant pour que la pression hydrostatique qu'elle exerce fasse équilibre à celle exercée par l'électrolyte ; de la sorte celui-ci ne peut pénétrer dans l'intérieur du tube *b* soit par les fissures soit par les pores des charbons. La conductibilité de ceux-ci n'est d'ailleurs pas influencée par l'huile dont ils sont imprégnés.

Pour éviter d'avoir un niveau d'huile trop élevé au-dessus du niveau de l'électrolyte, il convient de prendre une huile de densité très peu inférieure à celle de l'électrolyte. L'observation du niveau de l'huile permet de reconnaître s'il n'existe pas de fuites trop importantes. Lorsque l'électrolyse s'effectue à une température relativement élevée, on prend des huiles résineuses presque solides à la température ordinaire. L'huile peut être employée sous pression.

La figure 6 indique une variante du mode de connexion. Le conducteur *a* est enfermé dans une gaine en ébonite *b* munie de tubulures *b'* dans lesquelles passent les blocs conducteurs *f* ; de l'huile remplit encore cette gaine.

Les blocs conducteurs *f* au lieu d'être en charbon compact peuvent être formés de cylindres de graphite englobés dans du ciment.

Les figures 8 et 9 montrent trois dispositifs différents pour des anodes montées par leur extrémité supérieure. Dans le dispositif de la figure 7 les têtes des anodes sont fixées dans une épaisse lame de plomb dont les bords sont

Digitized by Google

repliés de manière à former une cuvette remplie d'huile. Dans celui de la figure 8 les têtes d'anodes sont recouvertes d'une calotte métallique et les anodes traversent le fond d'une cuvette rem-

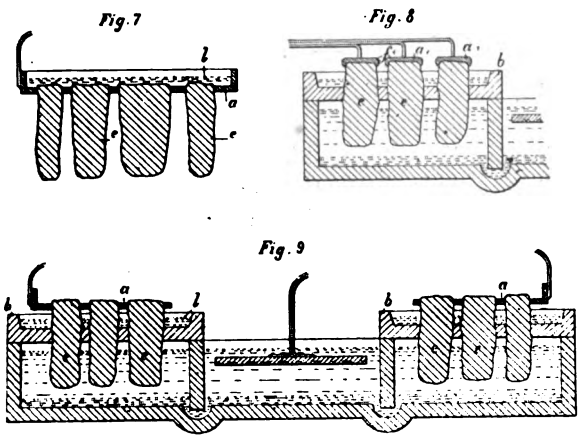


Fig. 7 à 9. — Anodes montées par la partie supérieure.

plie d'huile; cette huile monte par capillarité le long des charbons et protège les connexions. Le dispositif de la figure 9 tient à la fois des deux précédents.

Procédé F.-A. Gooch pour la production de l'aluminium. Brevet anglais, n° 16555, déposé le 15 août 1899, accepté le 16 septembre 1899.

Ce procédé consiste « à former un bain en fondant ensemble un composé convenable de l'aluminium et un sel halogène d'un métal plus électropositif que l'aluminium par rapport au soufre, à ajouter au bain un composé du soufre convenablement choisi et de l'alumine et à faire traverser le bain par un courant de bas voltage ».

Dans un tel bain il se forme du sulfure d'aluminium et c'est ce sel qui est décomposé par le courant. Divers procédés ont déjà été proposés pour obtenir l'aluminium par électrolyse du sulfure, mais dans ces procédés ou bien le sulfure était formé en dehors du bain et ajouté ensuite à celui-ci ou formé dans le bain aux dépens d'alumine en suspension, tandis que dans le procédé de M. Gooch le sulfure est produit aux dépens d'alumine *dissoute* ou *combinée* dans le bain. Aussi l'inventeur insiste-t-il sur la nécessité de choisir les différents constituants du bain en vue de faciliter la dissolution de l'alumine et la formation du sulfure.

Le composé d'aluminium doit, avec les autres constituants du bain, fournir un mélange pouvant dissoudre l'alumine. Le composé du soufre doit être capable de réagir sur l'alumine du bain pour donner le sulfure. Enfin les composés

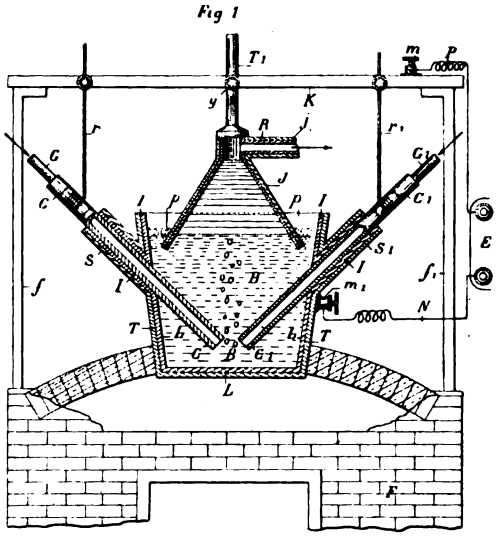


Fig. 1. — Four Gooch pour la fabrication de l'aluminium.

halogènes de métaux plus électropositifs que l'aluminium par rapport au soufre doivent être tels que lorsqu'ils sont fondus ils dissolvent le sulfure d'aluminium dès qu'il a pris naissance.

Les essais ont montré que les meilleurs résultats sont obtenus en prenant des sels halogènes alcalins et un sel halogène d'aluminium. A titre d'exemple M. Gooch indique le fluorure de sodium et le chlorure d'aluminium, dans la proportion de trois parties du premier sel pour deux du second, un excès modéré de l'un ou l'autre n'ayant d'ailleurs pas d'inconvénients. Comme composé sulfuré il indique le sulfure de carbone, mais revendique la possibilité d'employer tout autre composé du soufre, l'hydrogène sulfuré, par exemple.

L'appareil employé pour utiliser ce procédé est représenté par la figure 1. T est un creuset en fer dont le fond et les parois latérales jusqu'à la moitié de leur hauteur sont recouverts d'une couche de charbon L. Les parties supérieures des parois et les tubulures SS_1 qui livrent passage aux anodes C et C_1 sont recouvertes d'une couche compacte d'alumine qui isole les anodes du creuset. Les anodes sont reliées au pôle positif de la dynamo par l'intermédiaire des tiges rr_1 de la traverse K et du conducteur P; le conducteur négatif N est relié au creuset par la borne m_1.

Digitized by Google

Les anodes sont creuses et sont munies de tubes GG_1 par lesquels arrive le sulfure de carbone. Le creuset est recouvert d'une cheminée J avec tubulure de dégagement R, en tôle de fer protégée par une couche de charbon j; cette cheminée est supportée par une tige en bois T_1 fixée par une vis à la barre métallique K. Quand le four est en fonction on fait légèrement plonger la cheminée dans le bain et l'on recouvre de charbon *p* la surface du bain comprise entre les parois de la cheminée et celles du creuset.

On commence par faire fondre le mélange de chlorure d'aluminium et de fluorure de sodium, on introduit l'alumine dans le bain par l'intervalle comprise entre la cheminée et le creuset, et on fait arriver le sulfure de carbone. De l'oxysulfure de carbone ou de l'oxyde de carbone prend naissance et est évacué par la cheminée. On fait alors passer le courant électrique, l'aluminium se forme à la cathode tandis que du soufre en vapeur se dégage. En alimentant le bain d'alumine et en continuant à faire passer le courant de sulfure de carbone, l'aluminium se produit d'une manière continue. La différence de potentiel nécessaire pour effectuer la décomposition du sulfure n'est que de 0,9 volt.

L'inventeur dit avoir obtenu de bons résultats en formant le sulfure de carbone dans le bain lui-même, tout simplement en y introduisant du soufre au travers d'une épaisse couche de charbon. Il préfère toutefois employer le sulfure de carbone brut. Le sulfure de carbone qui s'échappe du bain par la cheminée est condensé et recueilli; on peut aussi par des procédés chimiques, recouvrer le soufre de l'oxysulfure de carbone ou bien brûler ce corps et le transformer en anhydride sulfureux que l'on absorbe et en gaz carbonique que l'on laisse s'échapper.

M. Gooch ajoute qu'il a aussi obtenu d'excellents résultats en prenant comme constituants du bain du fluorure d'aluminium et un fluorure alcalin, particulièrement le fluorure de sodium. L'alumine se dissout fort bien dans un tel bain et, quand on y introduit un composé sulfuré, du sulfure d'aluminium se forme rapidement en solution.

Sur la fabrication électrolytique de l'aluminium, par **G.-H. Robertson**. *Electrician*, t. XLIV, p. 287, 22 décembre 1899.

A propos du procédé dont la description est l'objet de l'analyse précédente, M. G.-H. Henderson fait observer que les procédés actuellement en usage pour la fabrication électrolytique de l'aluminium se divisent en deux groupes : ceux dans lesquels on électrolyse de l'alumine dissoute et ceux dans lesquels on électrolyse du sulfure d'aluminium en solution dans le bain.

Les premiers sont basés sur la découverte faite par Deville en 1859 qu'on peut obtenir de l'aluminium par électrolyse de la cryolithe fondue, la teneur du bain en aluminium combiné étant maintenue constante par la dissolution d'alumine incorporée au charbon des anodes. Cette électrolyse exigeant une dépense énorme d'énergie électrique, ce ne fut que dans ces dernières années que, grâce au prix de revient peu élevé de l'énergie électrique produite par les chutes d'eau, cette réaction put être utilisée.

Les procédés du second groupe ont précisément été imaginés en vue de réduire la dépense d'énergie électrique. Comme les premiers ils ont une origine déjà ancienne puisque dès 1857 Petitjean prenait un brevet pour la préparation de l'aluminium par électrolyse de son sulfure. Toutefois ce n'est qu'en 1892 que la question fit un nouveau pas grâce aux travaux de Bucherer qui parvint à produire en grande quantité le sulfure d'aluminium en traitant l'alumine par le charbon et le soufre additionnés ou non de sulfure de sodium (1). Quelques années plus tard,

(1) Voici ce que dit à ce sujet M. Borchers dans son *Traité d'électrométallurgie* (traduction française, p. 171 et suiv.)

Une grande importance est peut-être réservée à un procédé qui en Allemagne est protégé par deux brevets et a pour objet l'extraction de l'aluminium du sulfure d'aluminium fondu et dissous dans des chlorures alcalins. Les deux brevets sont de même date (18 novembre 1890). Celui de Bucherer qui est le premier d'après son numéro, s'occupe surtout dans sa description de la préparation du sulfure, tandis que l'autre, qui est au nom de l'Aluminium Industrie Actien Gesellschaft fait ressortir les avantages résultant de l'emploi de cet électrolyte.

Relativement à la préparation de son électrolyte, Bucherer dit « que par l'action des sulfures ou des polysulfures des alcalis et des terres alcalines, avec l'intervention de soufre et de charbon en excès, l'oxyde ou l'hydroxyde d'aluminium est transformé à chaud en sulfures doubles de l'aluminium avec les alcalis ou les terres alcalines ».

La réaction se passerait d'après l'équation suivante :

$$3Na^2S + Al^2O^3 + 3C + 3S = Na^6Al^2S^6 + 3CO$$

Dans une publication postérieure, il parle aussi de

Digitized by Google

Blackmore parvint à préparer plus économiquement le sulfure d'aluminium en faisant passer un courant de vapeurs de sulfure de carbone dans un bain fondu de sulfures et de fluorures de potassium et de sodium contenant de l'alumine dissoute. D'après une conférence faite en février 1897, à la Society of Chemical Industry de New-York, par M. Blackmore, le sulfure d'aluminium ainsi préparé ne reviendrait qu'à 0,66 fr le kilogramme et, comme la décomposition électrolytique de ce sulfure en solution dans un bain fondu ne demande que 3,8 volts, l'inventeur estimait que la fabrication de l'aluminium par ce procédé serait plus économique que les procédés Hall et Heroult, ceux-ci exigeant une différence de potentiel d'au moins 8 volts (1).

M. Robertson termine son article par une description sommaire du procédé Gooch.

tentatives qu'il a faites pour transformer, sans le concours d'autres sulfures, l'oxyde d'aluminium en sulfure. Le mélange d'oxyde d'aluminium et de charbon, maintenu au rouge blanc dans une cornue en terre serait « en continuant l'opération pendant un temps suffisamment long » complètement converti en sulfure par des vapeurs de soufre :

$$Al^2O^3 + 3C + 3S = 3CO + Al^2S^3$$

Les sulfures ainsi obtenus doivent ensuite être électrolysés, dans une solution de chlorures alcalins fondus, au moyen d'un courant de faible tension.

L'Aluminium Industrie Aktien Gesellschaft emploie aussi une pareille solution, qui est maintenue fluide soit au moyen de la chaleur produite par le courant électrique, soit par la chaleur d'un fourneau. Dans le premier cas, environ 5 volts de tension sont nécessaires, dans le second il n'est besoin que de 2,5 à 3 volts. Comme appareils, on peut employer des cuves en fonte, ou en fer revêtues de charbon. On vante comme avantage particulier du procédé que *ni ce revêtement ni les anodes en charbon* n'ont à souffrir des substances qui les touchent, de sorte que, outre l'économie considérable de charbon résultant de l'inutilité du remplacement de certaines parties de l'appareil, on obtient un aluminium très pur.

(1) M. Kershaw a fait remarquer avec raison (*The Electrician*, t. XXXIX, 11 juin 1897) que la réduction de la dépense d'énergie électrique ne peut avoir une importance considérable que là où cette énergie revient à un prix élevé, ce qui n'est généralement pas le cas pour les fabriques d'aluminium, lesquelles utilisent toutes des chutes d'eau. Ainsi à Niagara où l'énergie électrique coûte 50 fr le cheval-an, la dépense d'énergie n'est que de 28 fr par quintal d'aluminium produit par le procédé Héroult (21,8 chevaux-heure par livre anglaise de 453 gr) et de 17,30 fr pour la même quantité d'aluminium produite par le procédé Blackmore. Mais la dépense en matières premières est de 191 fr (230 kg de sulfure d'aluminium à 0,66 fr le kg) dans ce dernier procédé tandis qu'elle n'est que de 177 fr. (200 kg d'alumine purifiée à 0.88 fr le kg) dans le premier. L'augmentation des dépenses en matières premières est donc, dans cet exemple particulier, supérieure à l'économie réalisée sur la dépense d'énergie.

Fabrication et usages de l'aluminium, par **J. H. Henderson.** *Industries and Iron*, t. XXVI, p. 395, 15 décembre 1899.

L'auteur commence par décrire brièvement le procédé employé en Angleterre. Dans un creuset chauffé au gaz ou au coke et brasqué avec du charbon on met un mélange de 234 parties de fluorure de calcium, 421 parties de cryolithe, 845 parties de fluorure d'aluminium, 3 à 4 p. 100 d'un chlorure (par exemple le chlorure de calcium) et une quantité suffisante d'alumine. Quand le bain est fondu, on y plonge deux électrodes, l'on fait passer le courant, on ajoute de l'alumine et on fait écouler de temps en temps l'aluminium formé. La densité du courant est de 24 amp. par dm^2, la différence de potentiel de 6 à 8 volts ; il faut environ 11 chevaux-heure électriques par kilogramme d'aluminium produit.

M. Henderson signale une modification de ce procédé qui, dit-il, donnerait un meilleur rendement. La fusion du mélange destiné à former le bain, au lieu d'être produite par la combustion du gaz ou du coke, est alors produite par le courant électrique lui-même : dans ce but on place au début dans le creuset un bloc d'aluminium servant de cathode jusqu'à ce que le bain soit fondu ; ensuite c'est l'aluminium produit qui sert de cathode ; les anodes sont en charbon et peuvent être disposées à diverses hauteurs dans le bain.

L'auteur rappelle ensuite les diverses propriétés de l'aluminium : légèreté, conductivité électrique, inaltérabilité très grande en présence des divers agents chimiques. Puis il signale ses diverses applications en électricité : emploi, en Amérique principalement, pour la confection des fils télégraphiques et téléphoniques, des fils de trôlet, des commutateurs et autres appareils de tableaux de distribution, des balais et porte-balais ; son application dans les fonderies pour éviter les soufflures dans le moulage du bronze et de la fonte : son utilisation pour la fabrication de nombreux alliages ; son emploi pour remplacer les pierres lithographiques ; etc.

Digitized by Google

En terminant l'auteur fait remarquer que les difficultés que présente le travail de l'aluminium ont été peu à peu aplanies ; en particulier la soudure de l'aluminium peut être facilement exécutée en prenant soin de bien nettoyer le métal et en utilisant un fer à souder et un fondant spécial (dont la composition n'est pas donnée) que vend la British Aluminium Company.

Recherches sur les circonstances de formation des dépôts spongieux de zinc électrolytique, par **Foerster** et **O. Günther**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VI, p. 301-304, 30 novembre 1899.

L'ensemble des recherches de Kiliani, Nahnsen, Mylius et Fromm et Pertsch sur l'électrolyse des solutions neutres ou faiblement alcalines de chlorure ou de sulfate de zinc conduit au résultat suivant : La formation d'un dépôt spongieux de zinc est due à la production dans le voisinage de la cathode, par suite du départ des ions hydroxyles, de sous-chlorure ou de sous-sulfate basique ou d'hydrate de zinc.

S'appuyant sur ce résultat MM. Foerster et Günther ont pensé qu'on éviterait la formation du zinc spongieux en prenant des solutions capables de dissoudre l'hydrate de zinc qui tend à se former. En vue de contrôler cette idée ils ont, dans des recherches antérieurement publiées (*Écl. Élec.*, t. XVII, p. 414, 3 décembre 1899), opéré avec des solutions concentrées et chaudes de chlorure de zinc contenant en dissolution de l'oxyde de zinc ; le dépôt de zinc fut d'abord de belle qualité conformément à leurs prévisions, mais au bout de quelques heures de l'électrolyse il devenait spongieux.

Dans leurs nouveaux essais ils ont opéré sur des solutions d'hydrate de zinc dans un alcali, généralement la soude. L'oxyde de zinc du commerce ou précipité du chlorure ou du sulfate ne se dissolvant que très difficilement et en très faible quantité dans la soude, les auteurs ont préparé ces solutions par voie électrolytique. En électrolysant une solution de soude (20 gr NaOH par 100 cm³) entre deux électrodes en zinc ils ont pu obtenir une solution zincique renfermant 6 à 7 gr de zinc par 100 cm³, soit de 10 à 11 gr par 100 gr de solution. Par refroidissement cette solution abandonna des cristaux dont la composition correspond très sensiblement à la formule $Zn\begin{matrix}ONa\\OH\end{matrix}$, et après cette cristallisation la solution renfermait 8,78 p. 100 de son poids de zinc.

Cette solution a été soumise à l'électrolyse entre deux électrodes en zinc, la cathode étant enfermée dans un vase poreux. Avec des densités de courant de 0,01 à 0,04 ampère par cm² le dépôt de zinc était uni et brillant ; avec des densités de 0,08 à 0,1 ampère par cm², le dépôt ne tardait pas à devenir spongieux.

Une partie de la solution du compartiment cathodique, qui ne renfermait plus que 5,16 gr de zinc par 100 cm³, fut additionnée d'un volume triple d'une solution contenant 20 gr de soude par 100 cm³, de manière à n'avoir plus que 1,29 gr de zinc par 100 cm³ ; cette solution peu riche donne par l'électrolyse presque immédiatement un dépôt spongieux.

Cette solution fut à son tour additionnée d'un volume d'eau pure égale à trois fois son propre volume ; la nouvelle solution ne contenait plus alors que 5 gr de soude et 0,55 gr de zinc par 100 cm³ ; par l'électrolyse elle donnait un abondant dégagement d'hydrogène et le dépôt de zinc ne tardait pas à devenir spongieux.

Des essais faits sur une solution alcaline de zinc obtenue en additionnant de soude une solution de chlorure ou de sulfate de zinc montrèrent également que le dépôt spongieux se forme d'autant plus rapidement que la liqueur est moins riche en zinc ; si l'on substitue la potasse à la soude la formation du dépôt spongieux est encore plus rapide.

Les auteurs concluent de ces recherches que la présence dans le bain électrolytique d'un alcali destiné à dissoudre l'oxyde du zinc ne peut empêcher la formation de zinc spongieux. Aussi croient-ils devoir abandonner l'opinion émise dans leur précédent mémoire que la formation du zinc spongieux est due à la précipitation d'oxyde de zinc empêchant la cristallisation du dépôt.

Quelques expériences faites sur des sels de plomb ont montré que la présence d'un alcali dans la solution donnait lieu à un dépôt spongieux. Ainsi une solution d'azotate de plomb contenant 6 gr de plomb par 100 cm³ et soumise à un courant d'une densité de 0,03 ampère par cm³ fournissait un dépôt compact formé de

Digitized by Google

larges cristaux, tandis qu'une solution d'acétate de plomb dans une liqueur alcaline, renfermant la même proportion de métal, donnait, avec la même densité de courant un dépôt formé de cristaux très petits analogue au zinc spongieux.

ÉLECTRO ET MAGNÉTO-OPTIQUE

Sur la théorie de l'influence d'un champ électrostatique sur les propriétés optiques des corps, par **W. Voigt**. *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 297-318, octobre 1899. Résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. IX, p. 42, janvier 1900, par M. Cotton.

La théorie que développe M. Voigt pour les phénomènes *électro-optiques* est analogue à celle qu'il a proposée pour les phénomènes *magnéto-optiques*; elle a comme point de départ les équations de Hertz, sous une forme adaptée à l'explication de la dispersion et des propriétés des cristaux. M. Voigt cherche, en effet, à rendre compte non seulement du phénomène de Kerr (double réfraction électrique des corps primitivement isotropes), mais encore des observations faites par Pockels (Göttingue, 1893) sur les propriétés électro-optiques de certains cristaux. Il rattache aussi à cette théorie le pouvoir rotatoire cristallin.

M. Voigt est amené ainsi à prévoir l'existence de phénomènes électro-optiques qui n'ont pas encore été observés. Certains d'entre eux seraient des phénomènes électriques produits par la lumière (électrisation de certains cristaux, changement des constantes d'électrisation de corps cristallisés ou isotropes). M. Voigt prévoit qu'ils seraient très peu marqués.

Mais il se propose de rechercher expérimentalement une autre conséquence de sa théorie, à laquelle on peut arriver, d'ailleurs, en rapprochant le phénomène de Kerr et celui de Faraday; il existerait un phénomène électro-optique analogue au phénomène magnéto-optique de Zeeman; les raies d'absorption (ou d'émission) d'un corps seraient modifiées par un champ *électrostatique*.

Sur la production d'un champ magnétique sous l'action d'un rayon lumineux polarisé circulairement, par **A. Righi**, *Rendiconti dei Lincei*, t. VIII, 9 avril 1899.

Fitzgerald (1) a émis l'opinion qu'un rayon polarisé circulairement, traversant un gaz fortement absorbant, pourrait le rendre magnétique d'une manière appréciable; ce phénomène est en quelque sorte la réciproque de celui de Zeeman. Dès 1885, Righi a fait des recherches sur ce sujet (1) en dirigeant un rayon polarisé circulairement sur divers corps absorbants ou non, ces expériences n'ont pas montré le phénomène; il en est de même de celles de Gray publiées en 1890 (2).

Righi qui a trouvé que certains corps absorbants (vapeur d'hypoazotide ou de brome) produisent à la température ordinaire le phénomène inverse de celui de Zeeman, a pensé à utiliser ces corps pour faire de nouvelles tentatives. Ces expériences n'ont pas donné de meilleurs résultats que les précédentes.

Un tube en verre de 1,6 cm de diamètre et 2,3 de longueur, fermé par des glaces très minces est rempli de vapeur d'hypoazotide et traversé par un rayon solaire condensé par une lentille et polarisé. Entre le polariseur et le tube, est une double lame quart-d'onde formée de deux lames disposées dans le même plan et se touchant suivant une ligne verticale, avec sections principales à 45° l'une à droite, l'autre à gauche de la verticale. Il suffit de déplacer latéralement la double lame pour utiliser l'une ou l'autre de ses moitiés et obtenir un rayon polarisé circulairement dans un sens ou dans l'autre.

Au-dessous du tube est un léger système astatique suspendu à un fil de quartz très fin et muni d'un miroir.

L'aiguille inférieure du système est suspendue à quelques millimètres du tube et est perpendiculaire à l'axe de ce dernier, l'aiguille supérieure est à 9 cm environ.

L'auteur n'a pu observer d'une manière sûre aucune déviation par l'action du rayon polarisé. Or, un anneau disposé autour du tube, au-dessous du système astatique, n'aurait besoin d'être parcouru que par un courant de 14×10^{-7} unités électromagnétiques pour produire une déviation de un millimètre du spot sur l'échelle. Il

(1) *Nature*, 5 janvier 1890, p, 222, Londres.

(1) Recherches sur le phénomène de Hall particulièrement dans le bismuth, *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 11 novembre 1883; *Nuovo Cimento*, 3e s., t. XV, 1884, p. 144.

(2) *Nature*, 16 février 1899; *Phil. Mag.*, décembre 1890.

Digitized by Google

en résulte que si l'intensité d'aimantation du gaz était égale à 10^{-6} C. G. S. on observerait une déviation d'environ un millimètre.

Donc, si le gaz s'aimante sous l'action du rayon solaire polarisé circulairement, l'intensité d'aimantation doit être inférieure à 10^{-6} C. G. S.

G. G.

Sur l'absorption de la lumière dans un gaz placé dans un champ magnétique, par **A. Righi**. *Académie des sciences de Bologne*, séance du 28 mai 1899. Résumé dans le *Journal de Physique*, t. VIII, p. 608, par M. Maurain.

M. Righi a fait l'acquisition d'un grand réseau de Rowland (réseau concave, de 644 cm de rayon dont la surface rayée est un rectangle de $14{,}5 \times 5{,}2$ cm). Cet instrument lui a permis d'aller plus avant dans l'étude des propriétés de *l'hypoazotide* et de la *vapeur de sodium*, placés dans le champ magnétique et traversés par un faisceau *parallèle* aux lignes de force.

1° On sait que des expériences indirectes conduisaient à la conclusion que certaines des raies d'absorption de l'hypoazotide devaient présenter l'effet Zeeman. M. Righi a cherché à le constater indirectement.

Il y a, dans ce cas des raies d'absorption, une particularité qui empêche qu'on puisse voir très nettement *toutes les deux à la fois*, les deux composantes du doublet magnétique dans des observations suivant les lignes de force. On sait en effet que, pour chacune de ces composantes, le corps soumis à l'action du champ n'absorbe qu'une sorte de vibration circulaire. On ne peut donc espérer observer qu'un doublet formé de deux raies, moins sombre que la raie primitive. C'est ce doublet que M. Righi a cherché, en n'employant par conséquent aucun appareil de polarisation.

Le champ magnétique n'étant que de 4 500 unités, il ne faut pas être surpris qu'il ne l'ait aperçu pour aucune raie. Mais il a vu nettement quelques raies s'élargir, et on est conduit à penser qu'un champ plus intense permettrait effectivement de séparer les composantes.

Les raies que cite M. Righi comme subissant un changement sensible par l'action du champ sont d'abord des raies formant deux groupes, l'un situé au milieu de l'intervalle $D_1 D_2$, l'autre entre les longueurs d'onde 5920 et 5924. Les raies, peu intenses, sensiblement équidistantes, constituant chacun de ces groupes, semblent se fondre les unes dans les autres, et former un ensemble « fumeux » lorsque le champ est établi. En second lieu, quelques raies, plus distinctes, s'élargissent visiblement. Tel est le cas de la raie 5746 et surtout de la raie 5844, qui paraît double de largeur, le centre seul restant bien noir.

M. Righi a constaté aussi un changement analogue des mêmes raies, en observant perpendiculairement aux lignes de force.

2° Les expériences de M. Righi sur la vapeur de sodium ont été faites avec des flammes convenablement réglées pour donner des raies d'absorption plus ou moins larges ou même avec une couche épaisse de sodium en vapeur. Il a cherché surtout à se rendre un compte exact de l'explication de son expérience où une flamme au sodium est placée entre les pôles percés d'un électro de Faraday muni de deux nicols croisés.

A l'exemple de MM. Macaluso et Corbino, il a examiné au réseau les aspects très variés que prennent les raies plus ou moins larges, pour diverses orientations des nicols ; et il a cherché à étudier, d'une façon aussi précise que possible l'état vibratoire des radiations qui ont traversé la flamme.

Il a vérifié ainsi les conclusions de MM. Macaluso et Corbino. Il faut considérer, pour une vibration émergente, non seulement l'inégalité d'intensité de deux composantes circulaires inverses, résultant du phénomène de Zeeman, que M. Righi avait seule considérée d'abord, mais leur différence de phase, c'est-à-dire le pouvoir rotatoire magnétique particulier de la vapeur de sodium.

Les deux effets se superposent toujours : même dans le cas des flammes très riches, donnant des raies d'absorption ayant comme largeur le quart de la distance des raies D, on peut avec un champ suffisant (13 000) mettre en évidence, dans certaines régions des raies modifiées, l'existence de vibrations elliptiques et même circulaires ; tandis que, dans d'autres régions, les vibrations rectilignes incidentes subissent une rotation sans déformation notable.

Ce fait que la vibration émergente est en général elliptique, c'est-à-dire que ses compo-

Digitized by Google

santes circulaires inverses ont une inégale intensité, résulte immédiatement du phénomène Zeeman. M. Righi le montre et explique ainsi l'influence de la largeur de la raie primitive. Mais il ne cherche pas à rattacher au phénomène de Zeeman le pouvoir rotatoire lui-même.

Sur la relation entre le phénomène de Zeeman et la rotation magnétique anomale du plan de polarisation, par **D. Macaluso** et **O. Corbino**(1). *Rend. Lincei*, t. VIII. p. 116, 5 février 1899. Résumé dans le *Journal de Physique*, t. VIII, p. 610, par A. Gallotti.

Rappelant la disposition qui permet d'observer l'effet Zeeman et la théorie de la dispersion anomale, les auteurs montrent que si on représente par une courbe d'indice de réfraction n d'une radiation en fonction de sa longueur d'onde λ, cette courbe, qui se rapproche de l'axe des λ, en présentant un point d'inflexion à toute raie d'absorption, peut être considérée comme se déplaçant parallèlement à elle-même quand on excite le champ. Ce déplacement δ se fait dans le sens des λ décroissants, si la vibration de la lumière circulaire incidente se fait dans le sens du courant, et inversement. Si donc le courant est dextrorsum, on aura, en désignant par :

$$n = f(\lambda)$$

la courbe avant le passage du courant

$$n_1 = f(\lambda + \delta),$$

si la lumière est dextrogyre, et

$$n_2 = f(\lambda - \delta)$$

si elle est lévogyre. En développant en série de Taylor et négligeant δ^3 :

$$n_1 = f\lambda + \delta \frac{dn}{d\lambda} + \frac{1}{2}\delta^2 \frac{d^2n}{d\lambda^2}$$

$$n_2 = f(\lambda) - \delta \frac{dn}{d\lambda} + \frac{1}{2}\delta^2 \frac{d^2n}{d\lambda^2}$$

Si la lumière incidente est polarisée rectilignement, en traversant une épaisseur l du milieu son plan de polarisation tournera de

$$\rho = \frac{\pi l}{\lambda}(n_2 - n_1) = -\frac{2\pi l}{\lambda}\frac{dn}{d\lambda}\delta,$$

et comme l'expérience montre que δ est proportionnelle à l'intensité H du champ :

$$\rho = -\frac{2A\pi l}{\lambda}\frac{dn}{d\lambda}H.$$

A étant une constante différente pour chaque raie. Les auteurs terminent en montrant l'accord de cette formule avec les travaux de Becquerel et de Cotton.

Remarques sur les intensités relatives des composantes dans l'effet Zeeman, par **W. Voigt**. *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 290-296, oct. 1899. Résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. IX, p. 41, janv. 1900, par M. Cotton.

Les raies spectrales, observées perpendiculairement aux lignes de force du champ magnétique, se divisent, comme on sait, en plusieurs composantes. Si l'on examine les intensités relatives des composantes d'une raie modifiée, en se bornant au cas du triplet normal de Zeeman, on observe des différences singulières d'une raie à l'autre : tantôt la composante centrale l'emporte nettement sur les composantes latérales, tantôt c'est l'inverse. On le constate notamment sur des photographies des raies du fer, faites par M. Zeeman.

M. Voigt cherche à les expliquer en introduisant dans sa théorie une hypothèse supplémentaire. Il y rattache les phénomènes de polarisation partielle (Egoroff et Georgiewsky).

(1) Voir les recherches antérieures des auteurs, *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 254 et 536, 1898.

Digitized by Google

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 15 janvier 1900.

Champs de vecteur et champs de force. Action réciproque des masses scalaires et vectorielles. Energie localisée, par **André Broca**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 109-112.

Dans cette note, qui fait suite à une note « sur le principe de l'égalité de l'action et de la réaction » récemment publiée (*C. R.*, t. CXXIX, p. 1016, 11 déc. 1899), l'auteur développe quelques-uns des points de la communication qu'il a faite en septembre dernier au Congrès de Boulogne, de l'Association française, pour l'avancement des sciences, communication qui a été résumée brièvement dans ce journal (t. XXI, p. 218, 11 nov.).

M. Broca montrait dans sa note du 11 décembre que dans un champ de valeur quelconque, les masses vectorielles (agissant comme les éléments de courant) peuvent être remplacées par des feuillets, analogues aux feuillets magnétiques, des masses scolaires (comme les masses de discontinuité et les masses laptaciennes de l'électricité et du magnétisme). Dans sa dernière note, il démontre que *dans un champ de force, deux masses de la même nature de celles qui créent le champ sont soumises à une force réciproque, qu'elles soient scalaires ou vectorielles.*

Sur la distribution du potentiel dans un milieu hétérogène, par **A.-A. Pétrovsky**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 112-115.

L'auteur présente un résumé de quelques résultats de recherches mathématiques concernant les questions suivantes :

1° Capacité d'un condensateur plan, sphérique ou cylindrique formé de deux surfaces métalliques, entre lesquelles se trouvent plusieurs couches de diélectriques différents ;

2° Distribution du potentiel autour d'une sphère métallique disposée au centre d'une sphère n'isolant qu'imparfaitement ;

3° Capacité de la sphère ci-mentionnée, mesurée par un des procédés employés ordinaire ment (c'est-à-dire au moyen de courants alternatifs).

La capacité d'un condensateur plan renfermant plusieurs couches diélectriques a été envisagée par Maxwell qui a donné une formule pour l'exprimer. En résolvant l'équation de Laplace sous la forme qui lui a été donnée par Maxwell, c'est-à-dire

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K\frac{\partial V}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K\frac{\partial V}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K\frac{\partial V}{\partial z}\right)=0,$$

transformée en coordonnées sphériques ou cylindriques, l'auteur a obtenu, pour la capacité d'un condensateur, avec n couches diélectriques, les formules suivantes :

a. Condensateur plan : toutes les couches sont séparées par des surfaces planes perpendiculaires à l'axe des Z :

$$C_p=\frac{S}{4\pi\sum_{i=1}^{i=n}\frac{d_i}{K_i}}, \qquad (1)$$

où S représente la surface d'une plaque ; d_i et K_i sont respectivement l'épaisseur et le pouvoir inducteur spécifique du diélectrique qui forme la couche numéro i.

b. Condensateur sphérique : toutes les couches sont des surfaces sphériques concentriques :

$$C_s=\frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n}\frac{1}{K_i}\left(\frac{1}{r_{i-1}}-\frac{1}{r_i}\right)}, \qquad (2)$$

où r est le rayon de la sphère qui doit séparer la couche numéro i de la couche numéro $i+1$.

c. Condensateur cylindrique : toutes les couches sont séparées par des surfaces cylindriques coaxiales :

$$C_c=\frac{l}{2\sum_{i=}^{i=n}\frac{1}{K_i}\log\frac{\rho_i}{\rho_{i-1}}}, \qquad (3)$$

Digitized by Google

où l est la longueur du cylindre, ρ_i est le rayon extérieur de la couche numéro i.

On peut déduire de la formule (2) une autre expression très intéressante pour la capacité d'une sphère de rayon r_0 entourée d'une sphère diélectrique de rayon r_1.

En désignant par C la capacité de la sphère indiquée (r_0), on obtient C par la formule suivante :

$$C = \frac{1}{\frac{1}{K}\left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1}\right) + \frac{1}{r_1}}. \qquad (4)$$

Le problème (2) nécessite la solution de la question suivante :

Une sphère conductrice de rayon r_0 plongée dans une autre sphère de rayon r_1, formée par un isolateur imparfait, est liée par un fil métallique à une source de potentiel électrique. Celui-ci peut être une fonction quelconque du temps $|V|_{r=r_0} = F(t)$ et tout le système peut avoir au moment initial une distribution de potentiel $|V|_{t=0} = F(r)$. On demande de trouver la distribution de potentiel à chaque moment et dans tous les points de l'espace.

En désignant par K et k le pouvoir inducteur et la conductibilité spécifique, on trouve

$$\begin{cases} \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(Kr^2\frac{\partial V}{\partial r}\right) = -4\pi\rho, \\ \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(kr^2\frac{\partial V}{\partial r}\right) = \frac{\partial\rho}{\partial t} \end{cases} \qquad (5)$$

(V est le potentiel, ρ la densité de volume).

En intégrant les formules précédentes, on obtient finalement

$$\begin{aligned} |V|_r = {} & F(t)\, e^{-at}\left[\frac{1}{K}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}\right) + \frac{1}{r_1}\right] + Me^{-at} \\ & + \frac{\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r}}{Kr_1}\, ac^2 e^{-\frac{act}{r_1}} \int_0^t e^{\frac{act}{r_1}} F(t)\, dt \end{aligned} \qquad (6)$$

[a représente le facteur $\frac{4\pi k}{K}$, c est l'expression (4)].

Cette formule donne le potentiel dans un point intérieur à la sphère r_1. Pour un point extérieur à cette sphère, nous avons

$$|V|_R = \frac{1}{R}\left[cF(t) + Ne^{-at} + \frac{ac(r_1 - c)}{r_1^2} e^{-\frac{act}{r_1}} \int_0^t e^{\frac{act}{r_1}} F(t)\, dt\right]. \qquad (7)$$

Chacun des termes constituant ces formules a un sens physique déterminé.

Le premier n'est rien d'autre que la valeur du potentiel électrique excité au point donné par la charge qui se trouve à ce moment sur la surface de la sphère intérieure (comme si la seconde sphère n'était pas conductrice, mais conservait le pouvoir inducteur K). Le second terme n'est qu'une dénomination courte d'une série de termes. Le caractère commun de ceux-là est tel qu'ils dépendent des conditions initiales et s'annulent pour $T = \infty$. Il reste le troisième terme qui représente naturellement la valeur du potentiel électrique, provenant des charges qui ont pénétré dans la sphère extérieure.

Les modifications permanentes des fils métalliques et la variation de leur résistance électrique, par **H. Chevallier** (1). *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 120-122.

Lorsqu'un fil métallique est soumis à des variations périodiques de température, sa résistance électrique varie d'une façon fort irrégulière. Ainsi un fil pris à la température T_0, porté à T_1 et ramené à T_0 présente alors une résistance différente de celle qu'il avait primitivement à cette même température.

Le phénomène se manifeste très nettement avec les métaux et les alliages non écrouis ; il est dû aux transformations allotropiques éprouvées par les fils qui se *trempent* ou se *recuisent*, ces modifications étant affectées d'hystérésis.

L'auteur l'a étudié sur l'alliage platine-argent du commerce (2 parties Ag et 1 partie Pt) qui, outre qu'il est inoxydable, a l'avantage de donner une variation très mesurable (0,4 p. 100) de résistance quand on le fait passer de l'état recuit à l'état trempé. Cette étude l'a conduit aux résultats suivants :

1° *Existence d'une limite.* — Lorsqu'on fait osciller un grand nombre de fois la température du fil entre T_0 et T_1 (15° et 150° dans les expériences), la résistance R prend à T_0 des valeurs successives R′, R″, R‴, ..., telles que R′ — R″, R″ — R‴, ..., diminue de plus en plus, sans jamais s'annuler. La valeur de la résistance se rapproche de plus en plus d'une

(1) Ce travail a été fait au Laboratoire de Physique expérimentale de la Faculté des sciences de Bordeaux, dirigé par M. Gossart.

Digitized by Google

limite qui n'est jamais atteinte théoriquement, mais qui, pratiquement, est atteinte au bout d'un petit nombre d'oscillations de température ;

2° *Limite des limites.* — La limite ainsi obtenue n'est pas unique. Il suffit d'effectuer une *perturbation* (1) en portant le fil à une température T_2 (290° dans les expériences de l'auteur) supérieure à T_1, pour que de nouvelles oscillations entre T_0 et T_1 produisent une nouvelle limite différente de la première. En répétant plusieurs fois la même opération on obtient une série de limites de plus en plus rapprochées l'une de l'autre et qui tendent vers une nouvelle limite que l'on appelle *limite des limites ;*

Déplacement de la limite des limites. — La valeur de la limite des limites dépend de la température de perturbation T_2. En faisant varier T_2 entre 230 et 310° (dans l'ordre : 230°, 250°, 282°, 310°, 282°, 250°, 230°, 250°, 282°, 310°), l'auteur a trouvé des chiffres qui se rapprochent de plus en plus d'une limite qui serait invariable pour toute perturbation ne dépassant pas $T_2 = 310°$. Parvenu à cette limite des limites le fil est insensible à l'action des températures inférieures à 310°. Ses variations par échauffement sont parfaitement réversibles et ne présentent plus d'hystérésis.

Tous ces résultats sont entièrement d'accord avec les conclusions développées par M. Duhem dans sa théorie des déformations permanentes des corps solides (2). Ils sont analognes à ceux qui ont été obtenus expérimentalement par M. Marchis pour la dilatation du verre et par M Lenoble pour la traction des fils métalliques

Sur le phénomène de Hall et les courants thermomagnétiques, par **G. Moreau**. *Comptes rendus,* t. CXXX, p. 122-125.

En 1886, Nernst et Ettingshausen (3) ont découvert qu'une plaque métallique mince disposée dans un champ magnétique, normalement aux lignes de force et traversée par un courant de chaleur, est le siège d'un courant électrique transversal normal aux lignes de force et à la direction du flux calorifique. Ils ont désigné la force électromotrice ainsi produite par le nom de *force électromotrice thermomagnétique.* En appelant $\mathcal{H}$ l'intensité du champ extérieur à la plaque, α la largeur de la plaque et $\frac{\Delta t}{\Delta x}$ la chute de température supposée positive, suivant une section de la plaque. Nernst a établi que pour les faibles champs on avait

$$e = K \alpha \mathcal{H} \frac{\Delta t}{\Delta x}. \qquad (1)$$

K est un coefficient qui varie avec la nature de la plaque.

Si J est le flux calorifique qui traverse une section de la plaque, la formule (1) s'écrit facilement

$$e = \frac{K}{\varpi} \frac{\mathcal{H} J}{\varepsilon}, \qquad (2)$$

où ϖ est le coefficient de conductibilité de la plaque et ε son épaisseur. Si l'on substitue au flux de chaleur un courant électrique d'intensité I, la force électromotrice de Hall produite est, pour les faibles champs,

$$E = e \frac{\mathcal{H}}{\varepsilon} I. \qquad (3)$$

De la comparaison des formules (2) et (3), il résulte que les forces électromotrices *e* et E suivent des lois analogues.

Plusieurs auteurs, dont Riecke (4), ont cherché à expliquer les phénomènes thermomagnétiques. Leurs théories reposent sur des hypothèses plus ou moins nombreuses et quelquefois assez arbitraires.

La Note de M. Moreau a pour objet d'établir que ces phénomènes sont une conséquence immédiate de l'effet Hall.

Soient, en effet, deux tranches voisines de la plaque mince traversée par le flux de chaleur. Elles sont distantes de Δx et présentent une différence de température Δt. En vertu de l'effet Thomson, il y a entre ces deux branches une différence de potentiel ΔV et l'on a

$$\Delta V = \sigma \Delta t$$

où σ est la chaleur spécifique d'électricité de la

(1) Voir Marchis. Les modifications permanentes du verre (*Thèse,* p. 223).

(2) Voir Duhem, *Sur les déformations permanentes et l'hystérésis ;* cinquième Mémoire (*Mémoires de l'Académie de Belgique,* in-4°, t. LVI).

(3) Ettingshausen et Nernst, *Wied. Ann.* ; 1886.

(4) Riecke, *Écl. Élec.,* t. XVIII, p. 452, 25 mars 1899.

Digitized by Google

plaque. Cette dernière équation peut s'écrire

$$\frac{\Delta V}{\Delta x} = \sigma \frac{\Delta t}{\Delta x}.$$

La force électromotrice $\frac{\Delta V}{\Delta x}$, rapportée à l'unité de longueur donnera, sous l'action du champ magnétique, une force électromotrice transversale due à l'effet Hall. C'est cette force électromotrice qui constitue la force électromotrice thermomagnétique qu'on peut évaluer.

La formule (3) donne

$$E = \frac{c}{\rho} \mathcal{H}_z W, \tag{4}$$

où W est la force électromotrice du courant primaire I par unité de longueur; ρ la résistance spécifique de la plaque. En y remplaçant W par $\frac{\Delta V}{\Delta x}$, il vient, pour l'effet thermomagnétique dû à l'effet Thomson,

$$e = \frac{c\sigma}{\rho} \mathcal{H}_z \frac{\Delta t}{\Delta x}.$$

En posant

$$K = \frac{c\sigma}{\rho} \tag{5}$$

on a

$$e = K \mathcal{H}_z \frac{\Delta t}{\Delta x},$$

c'est-à-dire la formule (1), établie expérimentalement par Nernst. En vertu de la formule (5), le signe de K, c'est-à-dire le sens de la force électromotrice thermomagnétique, sera défini par le signe du produit $c\sigma$, c'est-à-dire par le sens de l'effet Hall et de l'effet Thomson.

Il est difficile de vérifier exactement l'interprétation précédente avec les résultats de Nernst (1), car il faudrait connaître les valeurs de σ et de ρ pour les différents corps étudiés, et l'on sait que ρ et surtout σ peuvent varier notablement d'un échantillon à l'autre d'un même corps suivant l'état moléculaire. Cependant, en prenant les nombres des recueils à données numériques, on arrive à une confirmation assez satisfaisante, ainsi que l'indique le tableau ci-dessous.

Dans la première et la dernière colonne sont réunis les nombres trouvés par Nernst à 20°, pour les coefficients C et K; le signe + indiquant que l'effet correspondant a le sens de l'action électromagnétique du champ sur le courant primaire de l'effet Hall. Dans la deuxième colonne se trouvent les valeurs de σ déduites des observations de Tait, Knott, Battelli, en admettant la loi de Tait sur la proportionnalité de la chaleur spécifique d'électricité à la température absolue. Dans la troisième colonne, les valeurs de résistance ρ, déduites des observations de Dewar, Righi, etc. Dans la quatrième, les valeurs de K calculées par la formule (5).

	$C_{20°}$	$\sigma_{20°}$	$\rho_{20°}$	K calculé.	K observé.
Bismuth	— 10,1	— 1875	126582	+ 0,149	+ 0,196
Antimoine	+ 0,192	+ 2074	44228	+ 0,0090	+ 0,0094
Nickel	— 0,024	— 1482	13802	+ 0,0026	+ 0,0073
Cobalt	+ 0,0046	— 4073	10675	— 0,00175	+ 0,00154
Fer	+ 0,0113	— 1412	10153	— 0,00136	— 0,00156
Acier	+ 0,0175	— 952	26600	— 0,00062	— 0,00060
Cuivre	— 0,00052	+ 275	1686	— 0,000084	— 0,000073
Zinc	— 0,00041	+ 697	6211	— 0,000046	— 0,000054

On voit que l'accord est assez satisfaisant, sauf pour le nickel et le cobalt. Pour ce dernier corps, le signe de l'effet déduit de la formule (5) n'est pas celui qui est observé. Pour le nickel, si l'accord des signes existe, l'écart entre les nombres est plus grand que pour les autres corps. De nouvelles recherches pour vérifier exactement la formule (5) étaient donc nécessaires. Dans une prochaine Communication l'auteur exposera les résultats des recherches qu'il a été amené à faire.

(1) NERNST, *Annal. Wiedemann*, t. XXI.

Sur la décharge des corps électrisés et la formation de l'ozone (2), par **P. Villard.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 125-127.

» On admet généralement que le pouvoir d'égaliser les potentiels est une propriété constante des gaz de la flamme. Ce n'est pas toujours exact : si, par exemple, on dirige la flamme

(2) Travail fait au Laboratoire de Chimie de l'École Normale Supérieure.

Digitized by Google

d'un petit bec Bunsen sur une toile métallique très serrée formant une cage de Faraday au sol, un conducteur chargé, placé dans cette cage à 4 cm de la toile, ne subit qu'une déperdition insignifiante, même si la toile atteint le rouge ; la décharge est d'autant plus lente que les mailles sont plus petites, et il est manifeste qu'elle serait nulle si aucune ligne de force n'atteignait la flamme (1).

» Introduisons, au contraire, une flamme isolée dans un champ produit entre deux plateaux métalliques verticaux distante de 30 cm environ, reliés à des électroscopes, et portés l'un à un potentiel de 700 à 800 volts, l'autre au potentiel zéro ; immédiatement le second se charge aux dépens du premier. Cependant, si l'air est calme, les gaz de la flamme n'atteignent pas les plateaux par diffusion ordinaire. Il importe d'ailleurs peu que la flamme soit près de l'un des plateaux ou au milieu de l'intervalle qui les sépare : l'interposition d'un courant n'empêche pas non plus la décharge de se produire.

« Le phénomène précédent disparaît si l'on entoure la flamme par un cylindre de toile métallique qui laisse passer les gaz mais arrête les lignes de force.

» Une flamme placée dans un champ électrique agit comme le ferait un faisceau de rayons X coupant les lignes de force ; les gaz produits par la combustion sont actifs comme l'air röntgénisé. En l'absence de tout champ électrique la flamme est inactive et les gaz qu'elle donne, transportés dans un champ, ne produisent aucune décharge.

» Pour analyser le phénomène il est préférable d'employer un corps solide incandescent (filament de lampe à incandescence, fil de platine, chauffés par un courant, ou tube de platine contenant un fil de platine isolé parcouru par un courant). On peut ainsi opérer dans le vide. Quand la pression est réduite à $\frac{1}{10}$ ou $\frac{1}{20}$ de millimètre, l'égalisation des potentiels entre un conducteur chargé et le corps incandescent devient presque instantanée, même à la distance de 40 cm ; au vide de Crookes, la décharge se fait également à grande distance, mais le phénomène est plus simple : un conducteur ne se décharge que s'il est électrisé positivement ; l'inverse a lieu pour le corps chaud. C'est la conséquence du fait, observé par Hittorf, qu'une cathode incandescente n'oppose qu'une résistance insignifiante au passage de l'électricité.

» Les phénomènes de déviation magnétique, d'attraction et de répulsion électrostatiques, la charge (négative) d'un cylindre de Faraday placé à l'intérieur d'une anode, comme dans l'expérience de M. J. Perrin (1), permettent de s'assurer que la décharge des conducteurs par une source incandescente, dans le vide, est bien due à l'action de rayons cathodiques. J'ai pu ainsi caractériser directement des rayons correspondant à une chute de potentiel de 10 à 12 volts.

» Si la raréfaction est poussée très loin, la décharge ne se produit plus, au moins si l'on ne dépasse pas quelques centaines de volts : c'est l'analogue de ce qui se passe dans un tube de Crookes.

» Il est permis de supposer que dans l'air ordinaire les corps incandescents peuvent émettre des rayons cathodiques comparables à ceux de M. Lénard, mais de voltage très faible. La décharge des corps électrisés positivement ou négativement résulterait de la production de rayons analogues aux rayons X. On sait d'ailleurs que les rayons de Lénard provoquent la décharge de conducteurs placés à plus de 30 cm du lieu de formation des rayons cathodiques. Pour les raisons qui feront l'objet d'une autre Communication, il est tout à fait admissible que la formation des rayons cathodiques ne dépende pas de la pression.

» Si l'on remarque que les rayons de Lénard ozonisent rapidement l'air, l'hypothèse précédente expliquera la formation d'ozone au contact des flammes, des corps incandescents [Elster et Geitel (2)], des étincelles électriques, et aussi par l'oxydation du phosphore. M. Naccari (3) et MM. Elster et Geitel (*loc. cit.*) ont en effet signalé la conductibilité acquise par l'air au contact du phosphore. Celui-ci se comporte comme une flamme (ou une source de rayons X) pourvu qu'il soit phosphorescent..

(1) On ne pourrait cependant pas supprimer la force électromotrice propre de la flamme (4 daniells d'après M. Kollert ; *Wied. Ann.*, t. XXI, p. 244).

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XI, p. 503 ; 1897).

(2) *Wied. Ann.*, t. XXXIX, p. 321, 1870.

(3) *Atti della R. Acc. d. Scienzia di Torino*, t. XXV, 1890.

Digitized by Google

» La décharge par la lumière extra-violette se rattache également aux rayons cathodiques. Les expériences de M. Righi (1), par exemple, établissent que la convection photo-électrique se fait dans le vide comme celle de la matière radiante, qu'elle est amondrie si les électrodes sont très rapprochées, facilitée par la présence d'un champ magnétique parallèle à la force. Ce sont là des caractères très nets de l'émission cathodique. En appliquant la méthode de M. J. Perrin, j'ai observé la charge d'un cylindre de Faraday au travers d'un trou fermé par une toile métallique fine, et placé à 20 cm de la cathode éclairée. Le voisinage d'un aimant supprimait l'arrivée de ces charges (la vitesse de décharge de la cathode restant la même).

» L'hypothèse cathodique ramène à une cause unique un certain nombre de phénomènes en apparence distincts :

» 1° Les phénomènes de décharge par les flammes, les corps incandescents et le phosphore ;

» 2° Les radiations particulières produites par les étincelles électriques (rayons de décharge de M. E. Wiedemann), radiations qui d'après M. Hoffmann (2) (*Wied. Ann.*, t. LX, p. 269 ; 1897) proviennent surtout de l'extrémité cathodique de l'étincelle ;

» 3° La décharge par la lumière ultra-violette ;

» 4° La production d'un courant entre le bout positif du filament d'une lampe à incandescence en activité et une électrode soudée dans la lampe (effet Edison) ;

» 5° La production de l'ozone par les flammes, par les corps incandescents, par l'arc électrique et les étincelles, par l'oxydation du phosphore à froid ;

» 6° La production de l'ozone par le radium, observée par M. Demarçay et par M. et Mme Curie (3).

» Les récentes expériences faites simultanément par M. Giesel, MM. Meyer et Schweidler et par M. Becquerel (4) établissent en effet que les rayons émis par le radium sont au moins voisins des rayons cathodiques. »

(1) *Rendiconti della R. Acc. dei Lincei*, 3 août 1890.

(2) *Wied. Ann.*, t. XL, p. 269; *Écl. Élect.*, t. XX, p. 326, 8 mai 1897.

(3) *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 823, 1899; *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 359, 2 décembre 1899.

(4) Voir *Écl., Élect.*, t. XXII, p. 113, note 2, 20 janvier 1900.

Une méthode de mesure de la vitesse des rayons Rœntgen, par **Bernard Bruhnes.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 127-130.

Le principe en est le suivant : à des distances inégales d'un tube producteur de rayons Rœntgen sont disposés deux micromètres à étincelles, chacun en relation avec une machine électrostatique et une capacité et dont les pôles présentent une différence de potentiel très peu inférieure à celle qui correspond à la distance explosive. Les rayons Rœntgen abaissant le potentiel explosif, comme l'a reconnu M. Swyngedauw, une étincelle jaillit à chacun des micromètres sous l'influence d'un faisceau de ces rayons, mais les deux étincelles doivent être séparées par un intervalle de temps égal au temps que mettent les rayons à parcourir la distance comprise entre les deux micromètres. Pour mesurer ce temps, nécessairement très petit, la distance des deux excitateurs ne pouvant guère dépasser 1 m, M. Bruhnes propose d'utiliser le dispositif employé par MM. Abraham et Lemoine (1) pour mettre en évidence la disparition instantanée du phénomène de Kerr, dispositif qui permet d'apprécier des billionièmes de seconde. L'une des étincelles servira alors de source de lumière, l'autre sera l'étincelle de décharge d'un condensateur de Kerr.

L'auteur a fait quelques expériences préliminaires. Dans l'une il emploie une machine de Töppler à 20 plateaux dont les pôles sont reliés aux armatures internes de deux bouteilles de Leyde et à un micromètre P. Les armatures externes sont reliées entre elles par une résistance liquide ; elles communiquent d'une part avec deux feuilles de zinc (20 cm de long, 4 cm de large, distantes de 4 à 5 mm) plongées dans du sulfure de carbone, et d'autre part avec un excitateur secondaire S qui ne joue aucun rôle direct dans l'expérience, servant seulement à décharger le condensateur. La lumière émise par l'étincelle de P traverse un nicol polariseur, la cuve, un analyseur biréfringent et enfin un second nicol. M. Bruhnes a constaté que l'éloignement du micromètre P de 70 à 80 cm diminue de plus d'un tiers la rotation qu'il faut don-

(1) *L'Écl. Élect.*, t. XX, p. 349, 2 septembre 1899.

Digitized by Google

ner au second nicol pour avoir l'égalité des images. Ceci montrait que l'appareil permet d'apprécier des intervalles de temps de l'ordre du temps employé par la lumière pour parcourir 70 à 80 cm.

Dans une seconde série d'expériences, la lumière traversant le condensateur de Kerr était produite par une étincelle éclatant entre les boules d'un second excitateur E, reliées aux pôles d'une machine de Voss et aux armatures de deux petites bouteilles de Leyde montées en cascade. En même temps qu'on produisait des étincelles en E, on en produisait également entre les boules du micromètre P. Généralement il n'y avait pas simultanéité dans la production des étincelles en E et en P. Toutefois en faisant tourner la machine de Töppler suffisamment vite pour qu'il y ait 4 ou 5 étincelles en P pour une en E, on arrivait par tâtonnements à ce que presque toutes les étincelles en E soient synchrones d'une étincelle en P. Ce synchronisme, que l'on reconnaissait à l'apparition brillante d'une des deux images de l'analyseur, était dû à ce que l'étincelle en E était provoquée par les rayons ultra-violets de P, car on le supprimait en interposant un écran formé de plusieurs doubles de papier noir entre les deux étincelles.

Dans une troisième série d'essais les deux micromètres P et E (séparés par du papier noir) étaient disposés de manière à recevoir les rayons Rœntgen émis par un tube de Crookes à illuminations intermittentes. Les vitesses de rotation des deux machines électriques étaient réglées de manière à donner en P et E une étincelle par 3 ou 4 illuminations du tube. On a quelquefois une réapparition brillante de l'image dans le nicol, qui montre l'établissement à quelques trois cent millionièmes de seconde près d'un synchronisme qui ne peut être attribué qu'aux rayons Rœntgen.

Si l'on compare les résultats des seconde et troisième séries, il *semble* que la réduction de la différence de phase de Kerr (mesurée par l'azimut qui rétablit l'égalité des images), produite par une augmentation de 1 m de la distance séparant P et E, soit à peu dans le même rapport, aussi bien dans le cas où la synchronisation est due à la lumière ultra-violette de P que dans celui où elle est due à l'action des rayons Rœntgen. Ces rayons *paraissent* donc se propager avec une vitesse finie de l'ordre de la vitesse de la lumière.

Sur la nature de la lumière blanche des rayons X, par **E. Carvallo,** *Comptes rendus*, p. 130-132.

L'idée la plus communément répandue sur la nature de la lumière est celle-ci : tandis qu'une lumière monochromatique, telle que la lumière rouge du lithium ou la lumière verte du thallium, est à peu près une vibration sinusoïdale simple de la forme $\sin ht$, la lumière blanche émise par les solides ou les liquides incandescents, serait une perturbation d'une forme plus compliquée ; on admettrait volontiers une vibration amortie, de la forme $e \sin ht$.

Dans une note présentée à la précédente séance de l'Académie (*C. R.*, p. 79-82) et que, par suite de la nature de son sujet, nous n'avions pas signalée, l'auteur a montré que cette dernière hypothèse ne cadre pas avec les résultats des expériences de Mouton et de M. Langley. Cette conclusion le conduit à poser, dans la note qui nous occupe, la question suivante : Doit-on persister à regarder la lumière blanche comme produite par une perturbation de forme déterminée ? Ne doit-on pas plutôt la considérer comme produite par une infinité ou mieux un nombre extraordinairement grand de vibrations sensiblement sinusoïdales et très diverses ? Voici comment M. Carvallo y répond :

« L'effet des réseaux, toujours d'accord avec eux-mêmes et avec les prismes, pour donner à chaque couleur une intensité déterminée et constante pour une lumière donnée, sans que les diverses radiations influent les unes sur les autres par les différences de phase cohérentes qu'impliquent les formules de Fourier, sans qu'il se produise notamment des raies monochromatiques blanches, comme dans le cas d'une vibration amortie étudié dans ma dernière Note, ces faits semblent déceler l'indépendance, l'individualité propre de chaque radiation. Pour fixer les idées, considérons les deux composantes D_1 et D_2 du sodium. Si elles proviennent de la décomposition d'un mouvement unique et de forme invariable, elles doivent présenter à la naissance de chaque perturbation la même différence de phase. Dans ce cas, elles produiront des battements par leur interférence. Au contraire, si

Digitized by Google

elles sont dues à deux vibrations qui naissent, d'une façon indépendante, du conflit d'éléments différents, aucun lien régulier n'existera entre les phases des deux composantes. L'effet de ce désordre sera de fournir une intensité uniforme, dénuée de battements.

» Certes l'expérience paraît difficile, les battements étant trop rapides pour la lenteur de notre œil ; même avec l'aide d'un miroir tournant, elle paraît impossible pour les raies D_1 et D_2. Mais pour des raies plus voisines, le problème n'est peut-être pas insurmontable. »

Les idées qui viennent d'être examinées trouvent une application intéressante dans l'interprétation des rayons X et des rayons qui jouissent des mêmes propriétés fondamentales :

« Malgré l'échec de toutes les tentatives faites pour mettre en évidence la périodicité des rayons X, on persiste à vouloir qu'ils présentent un spectre de périodes trop courtes pour nos moyens d'observation. Par contre, il fut un temps où l'on refusait de voir des ondulations dans les phénomènes lumineux où la périodicité apparaissait partout. Jusqu'à preuve du contraire, n'est-il pas raisonnable d'admettre que les rayons X diffèrent de la lumière en ce que la lumière est due à une perturbation périodique, et les rayons X à une perturbation non périodique ? Qu'il y ait une infinité de rayons X différents, rien de plus naturel, la forme de la perturbation pouvant changer les propriétés de détail du rayon.

» Un fait semble justifier cette hypothèse : les rayons X se propagent partout et toujours en ligne droite : pas de réfraction, pas de diffraction. Or, il est démontré [1] que le front d'une perturbation quelconque de l'éther s'avance dans tous les milieux avec la vitesse de la lumière dans le vide et que la perturbation se déforme en se propageant. Il en est ainsi, même des perturbations périodiques ; seulement, pour celles-ci la périodicité se rétablit en chaque point au bout d'un certain temps après que le front de l'onde a frappé ce point. De là le ralentissement apparent de la vitesse de propagation, de là la réfraction. Ces phénomènes sont dus à la seule périodicité. Les rayons X ne les présentent pas plus qu'aucun autre phénomène de périodicité. Dès lors, leur nature, c'est-à-dire la forme de la perturbation, doit s'altérer à mesure que ces rayons pénètrent dans les corps. De là les rayons secondaires si variés étudiés notamment par M. Sagnac. »

[1] Poincaré. Sur la propagation de l'électricité (*Comptes rendus*, t. CXVII, p. 1027, 1893). — Emile Picard. Sur l'équation... de la propagation de l'électricité (*Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 16, 1894). — Boussinesq. Intégration de l'équation du son... (*Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 162 et 223, 1894). — E. Carvallo. Intégration des équations de la lumière... (*Comptes rendus*, t. CXIX, p. 1003, 1894). — Les trois premiers de ces mémoires ont été analysés dans *La Lumière Électrique*, t. LI, p. 101, 3 mars 1894.

Sur l'électrolyse du chlorure de potassium, par **A. Brochet**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 134-137.

Diverses théories ont été proposées par Œttel, Wohlwill, Haber, etc., au sujet de la formation des hypochlorites et chlorates dans l'électrolyse des chlorures alcalins et alcalino-terreux. Œttel admet [1] que le chlorate prend naissance par deux processus différents : 1° par formation primaire résultant de l'action du chlorure de l'anode sur l'alcali se trouvant dans le voisinage, lequel est remplacé par celui obtenu à la cathode ; 2° par formation secondaire, par suite de la transformation de l'hypochlorite en chlorate. Il est à remarquer que Lunge avait donné une théorie analogue au sujet de la fabrication du chlorate par voie chimique.

En cherchant à déterminer la quantité de chlorate formé respectivement dans ces deux réactions, M. Brochet a été conduit à faire toute une série de recherches et il a notamment suivi pas à pas, par le dosage, la formation de l'hypochlorite et du chlorate au début de l'opération.

Dans une de ces recherches la solution renfermait, pour 100 cm³, 20 gr de chlorure de potassium, 0,1 gr de bichromate et 0,2 gr de potasse caustique, ce qui correspondait à une alcalinité de 0,16 gr. L'électrolyseur, formé par un bocal de 200 cm³, était refroidi par un courant d'eau. Un bouchon de caoutchouc percé de deux trous fermait l'appareil ; par l'un de ces trous passait un tube permettant de faire les prises d'essai et de placer un thermomètre ; par un tube placé dans l'autre on recueillait les gaz sur la cuve à eau, en même temps que ceux d'un voltamètre à gaz tonnant.

Les électrodes de platine iridié étaient de

[1] *Zeits. f. Electroch.*, t. I, p. 854. — *Écl. Élect.*, t. XI, p. 415, 22 mai 1897.

Digitized by Google

même surface 44 cm², et l'intensité du courant était maintenue tout le temps à 2 ampères, ce qui donnnait une densité de courant de 0,045 ampère par centimètre carré. La différence de potentiel aux bornes qui était de 3.4 volts au début s'est élevée rapidement à 3,7 volts, puis lentement à 3,85 volts. La température a varié de 16° à 20°.

La partie du courant employée à l'électrolyse de l'eau était indiquée d'après le volume d'oxygène de l'électrolyseur et l'oxydation totale d'après la différence entre ce chiffre d'oxygène et celui du voltamètre. De temps en temps on faisait deux prises du liquide dont l'une servait à doser le pouvoir oxydant total (sulfate ferreux et permanganate) et l'autre servait à doser l'hypochlorite (méthode de Penot). Pour régulariser, ces chiffres sont ramenés à la quantité de chlore correspondante par litre. La différence entre ces valeurs donnait le chlorate formé. Ce dernier sel commence à se déposer lorsque la solution renferme 11 gr par litre.

L'inspection des résultats montre que, dès le début, le rendement, qui était de 98 p. 100, se maintient, pendant une heure et demie, au-dessus de 90 p. 100, en même temps que la teneur de la solution en hypochlorite devient constante. Le chiffre de 13,7 gr de chlore par litre indiqué par Œttel n'est pas absolu, l'auteur est arrivé jusqu'à 23,5 gr. La proportion de chlorate en solution croît très lentement jusqu'à ce qu'il n'y ait plus formation d'hypochlorite. Elle devient alors proportionnelle au rendement. Quant à l'électrolyse de l'eau, très faible au début, elle augmente peu à peu jusqu'à atteindre une valeur constante.

Si l'on opère dans les mêmes conditions sans addition d'alcali, le rendement est encore plus élevé, en même temps que l'hypochlorite en solution tend vers une valeur plus grande. Si, au contraire on ajoute de l'alcali, le rendement décroît rapidement, ainsi que la quantité d'hypochlorite en solution. Celle-ci arrive même à être complètement nulle.

M. Brochet conclut ainsi : On voit donc d'après cela combien est faux le préjugé qui veut que le chlorate ne soit obtenu qu'en solution chaude et très alcaline, étant donné que, en présence de chromate de potassium, il est vrai, à la température de 20°, en liqueur à peine alcaline ou même neutre, on peut obtenir du chlorate avec un rendement de plus de 70 p. 100. Sans chromate, comme l'a indiqué Fœrster, on ne dépasse pas 35 p. 100, mais il ne faut pas oublier que dans ces conditions la moitié de la quantité d'électricité fournie à l'électrolyseur est employée à réduire l'hypochlorite.

Sur un nouveau sulfure de molybdène cristallisé, par **Marcel Guichard**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 137-140.

Après avoir employé un four à vent, l'auteur s'est servi du four électrique pour étudier l'action de la chaleur sur le bisulfure de molybdène.

La plupart des essais ont été faits à l'aide d'un four à tube chauffé par un arc de 900 ampères et 40 volts, les temps de chauffe variant de deux à quatre minutes. Pour quelques essais, afin d'éviter le contact du charbon, le sulfure a été placé dans la cavité d'un petit four électrique et chauffé de trente à quarante minutes par un arc de 45 ampères et de 50 volts.

Lorsque le bisulfure de molybdène a été chauffé jusqu'à fusion, il a perdu une partie de son soufre et l'on obtient des masses à cassures gris métallique, ne rayant pas le verre et se polissant facilement à la lime, formées par l'enchevêtrement d'un grand nombre d'aiguilles cristallines ; on trouve souvent à l'intérieur des cavités tapissées d'aiguilles facilement détachables. Pour les isoler, il suffit de traiter un culot bien cristallin par l'eau régale étendue et froide qui dissout le molybdène non combiné, les aiguilles devenues libres se détachent et on les lave et sèche à 110°.

Ces aiguilles, qui ont souvent plusieurs millimètres de long, sont gris d'acier, un peu plus dures que la molybdénite ; leur densité à 15° est 5,9. Elles sont constituées par un sesquisulfure de molybdène Mo^2S^3, comme le démontrent les analyses effectuées sur des échantillons provenant de préparations différentes.

L'auteur indique ensuite les diverses propriétés de ce sesquisulfure. Nous n'en retiendrons que celle-ci : ce corps est dissociable à température élevée, de sorte qu'en le maintenant quelque temps à la température du four électrique il ne reste que le métal désulfuré.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 3 Février 1900. 7e Année. — N° 5

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

SUR LA

LOI ÉLÉMENTAIRE DES ACTIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

ET L'INDUCTION UNIPOLAIRE

1. Dans un travail récent, M. E. Lecher (1), discutant l'expérience fondamentale de rotation continue d'un aimant sous l'action d'un courant, est conduit à considérer l'une des explications ordinairement admises de ce mouvement comme insoutenable. Il décrit en outre une expérience dans laquelle il voit un démenti formel donné à cette explication. Je me propose de discuter les arguments produits à l'appui de ces vues.

M. Lecher part d'un dispositif (fig. 1) qu'il faut peut être attribuer à Pohl et présente sur celui de Faraday et d'Ampère le léger avantage théorique de supprimer le passage du courant au voisinage immédiat ou dans la masse même de l'aimant :

Le courant passe en B$'abpz$B (f est une rigole contenant du mercure); sous son action l'équipage magnétiqne ns, $n's'$ prend un mouvement de rotation continu. L'explication contre laquelle s'élève M. Lecher est celle qui attribuerait le mouvement à l'action de la partie verticale aa du circuit sur les pôles n et n' qui en sont très rapprochés, à l'exclusion des forces exercées par le reste du circuit sur les mêmes pôles et par le circuit entier sur s et s', forces que l'on néglige d'ordinaire vis-à-vis des premières. M. Lecher fait à cette manière de voir une objection basée sur la théorie classique des lignes de force ; il remarque que, dans un mouvement de rotation d'un aimant, tel que ns, autour d'un axe aa

(1) Ueber einen experimentellen und theoretischen Trugschluss in der Elektricitætslehre (*Wien. Berichte* t. CVIII 13 juillet 1899) et *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 781, décembre 1899) et (Eine Studie über unipolare Induction). *Wien Berichte*, t. CIII, octobre 1894; *Wied. Ann.*, t. LIV, p. 276, février 1895.

Digitized by Google

qui lui est parallèle, les positions relatives n'étant jamais modifiées, le fil rencontre toujours les mêmes lignes de force, qui sont dans le plan de l'aimant et de l'axe de rotation. Ceci est parfaitement exact (1), mais c'est dans les conclusions que je cesse de suivre la pensée de M. Lecher.

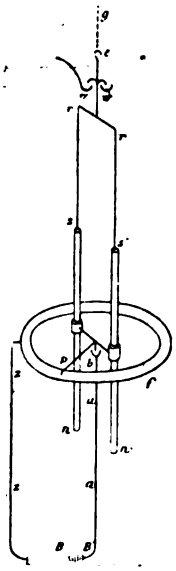


Fig. 1.

2. Pour bien préciser, rappelons d'abord ce point essentiel que, si l'action d'un champ sur un élément de courant est une quantité accessible à l'expérience, il n'en est pas de même de l'action d'un élément de courant sur un aimant. Un élément ou une partie de courant n'exerce pas une force qu'on puisse isoler expérimentalement; quand on parle de l'action exercée par une portion de circuit sur un pôle, il est bien entendu qu'on veut parler de l'intégrale calculée, à partir d'une certaine loi élémentaire, loi qui n'est astreinte qu'à la condition de représenter les faits expérimentaux quand on intègre le long d'un circuit fermé. On pourra toujours trouver une loi telle que l'action de *aa* sur les pôles *n* et *n'* l'emporte d'autant qu'on le voudra sur les autres forces agissantes. Nous en donnerons plus loin un exemple.

Ceci établi, voici comment la question me semble devoir être envisagée. Si l'on se contente de dire, sans rien préciser, que les parties du courant les plus rapprochées des pôles exercent une action prépondérante, on prononce une phrase qui n'a aucun sens précis. L'action d'un courant sur un pôle n'est pas, au point de vue expérimental, une intégrale, c'est une force unique que notre imagination seule peut décomposer en éléments infiniment petits et cette décomposition est arbitraire. La seule chose qu'on puisse se demander est celle-ci : Etant *admise* une loi bien déterminée pour l'action d'un élément de courant sur un pôle, résulte-t-il, ou non, de cette loi que l'action de la partie *aa* sur les pôles *n* et *n'* est prépondérante ? Tout dépendra du choix de la loi élémentaire.

La loi que Biot et Savart ont déduite de leurs expériences donne, pour l'action du segment *aa* sur les pôles *nn'*, s'il est suffisamment rapproché des pôles, une force auprès de laquelle les autres actions exercées par le reste du courant seront aussi petites qu'on le voudra. C'est à cette loi que l'on pense plus ou moins quand on dit que l'action du fil *aa* est prépondérante ; il importe d'observer que cette façon de parler n'est pas rigoureusement justifiée et que les expériences de Biot et Savart ne permettent pas de déterminer d'une façon complète la loi qu'ils ont donnée comme résultats de leurs expériences de l'action d'un *élément* de courant sur un *pôle*.

Il est clair, tout d'abord, qu'on n'a pas opéré sur un pôle isolé, mais sur un aimant rigide qui portait une quantité de magnétisme nulle. Toutefois, comme les expériences d'induction électromagnétique donnent des résultats conformes à ceux qui résultent de l'expression de Biot et Savart, on peut admettre que cette expression représente suffisamment la valeur du *champ*. D'ailleurs, dans tout ce qui suit, nous ne raisonnerons jamais sur un pôle isolé ; il n'y a donc pas de difficulté à ce point de vue.

Mais ce qui semble moins conforme aux idées établies, c'est que les expériences de Biot et Savart ne permettent pas de passer à la loi élémentaire de l'action des courants. Leurs raisonnements supposent en effet essentiellement que les actions qu'ils observaient n'étaient imputables qu'au courant rectiligne ou au courant angulaire de très grande longueur qu'ils approchaient de l'aimant ; ils croyaient que l'éloignement des autres parties du circuit suffisait à rendre leur action nécessairement négligeable. Dans le tome II de la troisième

(1) Sous le bénéfice toutefois d'une hypothèse que nous discuterons plus loin.

Digitized by Google

édition du *Précis élémentaire de physique* de Biot, on lit cette phrase : « Nous avons fait passer le courant voltaïque à travers un fil conjonctif de cuivre bien cylindrique ZC, que nous avions à l'avance tendu verticalement au devant d'elle (l'aiguille) à une distance connue, et auquel nous avions donné assez de longueur pour que ses extrémités, qu'il fallait recourber afin de les attacher aux pôles de l'appareil voltaïque, n'eussent sur l'aiguille, à cause de leur éloignement, qu'une action si faible qu'elle pût être impunément négligée (1) ». La précaution est insuffisante, comme nous allons le montrer par un exemple.

Supposons que la loi de l'action d'un champ magnétique sur un élément de courant ait été connue avant l'expérience de Biot et Savart et qu'on eût voulu prévoir les résultats de cette expérience en partant de cette loi. On aurait raisonné ainsi : « L'action d'un pôle μ sur un élément de courant ds est une force $\frac{\mu i \sin \alpha}{r^2} ds$; sur un fil rectiligne indéfini la résultante est $\frac{2\pi\mu i}{d}$, d étant la distance du pôle au fil ; cette résultante rencontre le fil. Admettons que l'action soit égale et opposée à la réaction, même lorsqu'il s'agit de forces élémentaires qu'on ne peut isoler expérimentalement ; la réaction du fil indéfini sur le pôle sera une force rencontrant le fil et ne passant pas par le pôle. Au contraire la réaction d'un courant fermé, calculée suivant la même loi, est une force passant par le pôle ; donc la réaction de la partie de courant dont Biot et Savart ne croyaient pas devoir s'occuper est du même ordre que celle du fil rectiligne. En fait cette réaction est un couple dont on peut considérer une composante comme rencontrant le fil rectiligne et neutralisant la réaction de ce fil et l'autre composante comme passant par le pôle et constituant la réaction totale du courant sur ce pôle. » Ce mode de raisonnement n'est pas absolument nécessaire, puisqu'il admet l'égalité de l'action et de la réaction dans des conditions particulières, mais cette hypothèse est au moins aussi valable que celle de Biot et Savart et son introduction montre nettement que la première n'était nullement indispensable.

D'une façon générale, la réaction d'un élément de courant sur un pôle est, dans l'hypothèse où elle serait égale à l'action, une force rencontrant le courant ou, si l'on veut, l'ensemble d'une force passant par le pôle et d'un couple ; ce couple disparaît dans l'intégration autour d'un circuit fermé. Il en résulte qu'on peut, sans inconvénient, au point de vue du résultat final, admettre arbitrairement que la réaction d'un élément sur un pôle est une force passant par le pôle (comme le faisaient Biot et Savart) on rencontre l'élément.

On considère dans plusieurs ouvrages, comme expérimentalement prouvé que l'action des parties éloignées d'un courant est négligeable. Je crois qu'on veut seulement exprimer le fait qu'on peut, sans modifier l'action observable, déplacer d'une façon quelconque les parties éloignées ; on sait que faire passer une partie ABC d'un courant à la position ADB, les deux extrémités A et B restant fixes, revient à introduire un nouveau courant fermé ACBD qui, suivant ACB est dirigé en sens contraire du courant primitif et, suivant BDA est dirigé comme ce courant. Ce qu'on vérifie seulement c'est que l'introduction d'un nouveau courant *fermé* dont toutes les parties sont éloignées de l'aimant n'exerce aucune influence sensible.

Voici, sur ce premier point, notre conclusion : l'explication indiquée par M. Lecher n'est pas nécessaire, mais elle est acceptable ; on peut en trouver une infinité d'autres qui soient dans le même cas. On peut trouver une loi élémentaire, concordant avec les résultats expérimentaux dans le cas d'un courant fermé et telle que l'action prédominante soit exercée par une partie arbitrairement choisie des courants.

(1) Cité d'après les *Mémoires sur l'électrodynamique* (t. I, p. 86) publiés par M. Joubert dans la Collection des Mémoires originaux de la Société française de Physique.

Digitized by Google

3. Se plaçant au point de vue expérimental, M. Lecher change les connexions du dispositif précédent et, au lieu de ramener le courant de *b* à la rigole *f*, le fait passer dans la partie supérieure des aimants, d'où par *w* il vient en B. Dans ce cas la rotation ne se produit plus. M. Lecher conclut que, la seule différence entre les deux expériences étant la substitution au fil *zz* d'un autre fil, ce ne pouvait être la portion *aa* du circuit qui déterminait le mouvement. Au point de vue de la pure logique, ce raisonnement est évidemment insuffisant : l'absence de mouvement dans le second cas prouve uniquement que, si *aa* le déterminait dans le premier cas, on a neutralisé cette action en changeant quelque chose à l'appareil.

Il n'est pas nécessaire d'avoir deux aimants et M. Lecher a répété l'expérience avec le dispositif représenté figure 2 : la moitié d'un aimant *sn*, équilibré par un contrepoids *g*, est insérée dans une partie mobile *nsc* d'un circuit parcouru par un courant ; on ne constate pas de rotation. L'explication est simple : les mouvements électromagnétiques continus sont toujours accompagnés d'une production de travail électromagnétique ; or, dans notre cas, le travail produit dans un tour complet de la partie mobile serait nul. Evaluons, en effet, ce travail au moyen de la variation du flux de force (1) (ce qui est incontestablement légitime dans le cas du circuit fermé que nous considérons). Toute la partie mobile reste dans un même champ magnétique ; on n'a donc à tenir compte que de la partie fixe. Il y a plus : on peut remplacer cette partie mobile par tout autre circuit invariablement relié à l'aimant et entraîné par conséquent avec le champ magnétique. En particulier nous pouvons réduire cette partie à un fil rectiligne dirigé suivant l'axe de rotation *aa* ; il sera alors évidemment indifférent de supposer que ce fil tourne ou ne tourne pas avec l'aimant et nous arriverons à ce résultat : le travail qui serait accompli par les forces électromagnétiques dans la rotation de l'aimant *ns* et des parties mobiles du circuit conserve la même valeur quand ces parties se réduisent à un segment fixe ; il est donc nul puisque les deux pôles tournent autour du courant et il n'y a pas de tendance à la production d'une rotation indéfinie. Il y aura une ou plusieurs positions d'équilibre stable, déterminées par les dimensions de l'ensemble du système ; elles seront telles que la résultante des forces qui s'exercent tant sur l'aimant que sur la partie mobile du courant vienne passer par l'axe de rotation.

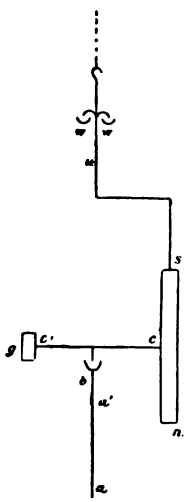


Fig. 2.

Ces positions d'équilibre stable seront en général, en nombre fini ; par suite, quand on abandonnera l'appareil à lui-même, il pourra produire d'aborb un mouvement de la partie mobile, jusqu'à ce que l'orientation convenable soit atteinte, mais il n'y aura pas rotation continue. M. Lecher a bien vérifié ce dernier point ; mais perdant de vue le fait que l'équilibre n'était pas indifférent, il s'est efforcé — sans y parvenir — de réaliser un appareil tel qu'aucune déviation ne se produisît quand on l'abandonnait à lui-même dans une position quelconque.

Les observations qui précèdent établissent nettement la différence qui existe entre les deux formes de l'expérience. Supposons que dans le premier dispositif, laissant les aimants à la même hauteur, nous élevions progressivement la rigole à mercure et le bras mobile *bp* ; lorsque le niveau des pôles *ss'* sera dépassé il est clair qu'on pourra supprimer le mercure et le contact mobile sans rien changer aux positions relatives des dernières parties du sys-

(1) Je ne tiens compte que du flux émané de l'aimant ; la partie mobile du courant n'a évidemment aucune tendance à tourner sous l'action du reste du courant.

Digitized by Google

tème et faire monter directement le courant jusqu'au fil rr' ; on aura ainsi passé graduellement du cas où les trajectoires s et s' n'entourent pas le courant à celui où elles l'entourent. De plus, comme nous l'avons dit plus haut, cette disposition est équivalente, au point de vue de la possibilité d'une rotation indéfinie à celle où le courant décrirait une courbe quelconque, invariablement reliée aux aimants entre b et rr'. Le second dispositif de M. Lecher se distingue donc du premier par le fait d'être directement équivalent au système d'un courant fixe et d'un aimant non traversé par ce courant, système qui ne peut pas donner lieu à une rotation continue.

On peut se demander si c'est brusquement ou non que l'appareil cesse de pouvoir fournir une rotation continue ; en réalité, la transition est ménagée si le magnétisme libre des aimants n'est pas répandu uniquement sur leurs bases. En effet le travail produit dans une révolution complète est le produit de $4\pi i$ par la somme de toutes les masses magnétiques dont les trajectoires enferment le courant aa ; dans la première expérience cette somme est négative ; elle augmente graduellement lorsque le point b s'élève ; si les aimants étaient effilés en pointe, la somme tendrait progressivement vers zéro. Or ce travail mesure le couple qui tend à déterminer le mouvement ; la vitesse de rotation ira donc en diminuant jusqu'à zéro.

L'expérience de M. Lecher s'explique tout aussi bien dans les idées de Biot et Savart. Pour le montrer supposons que nous complètions le circuit $wu\,a'a$ (fig. 2) par un courant rectiligne allant de b en u ; ajoutons en même temps un courant égal de signe contraire que nous considérerons comme fermant la boucle $uscb$. Nous aurons ainsi un courant rectiligne wa, que nous pourrons rendre pratiquement indéfini, et qui agira : 1° sur un courant fermé $uscb$; ce courant ne tend pas à tourner autour de l'axe ; 2° sur un aimant, qui ne tend qu'à se mettre en croix avec le courant et nullement à tourner autour de lui. Enfin il y a un courant fermé relié à l'aimant, qui ne tendra évidemment pas, en vertu de l'égalité de l'action et de la réaction, indiscutable ici, à produire un mouvement. Il n'y aura donc aucune rotation de l'ensemble de cet aimant et de ce courant. En résumé le dispositif de M. Lecher supprime les contacts glissants ; il ne laisse subsister que deux points d'articulation et des parties mobiles autour de la droite qui les joint ; or il n'existe pas d'expériences de rotation électromagnétique dans laquelle les points où le courant passe à ces parties soient à la fois invariables dans l'espace et occupés toujours par les mêmes masses matérielles.

4. *L'induction unipolaire.* — J'ai admis plus haut, avec M. Lecher, que, dans la rotation d'un aimant excentrique autour d'un axe, les mêmes lignes de force étaient toujours rencontrées par le fil. Ceci suppose que dans le mouvement de l'aimant les lignes de force sont entraînées avec lui ; c'est un fait que personne ne conteste lorsqu'il s'agit d'un mouvement de translation ; mais dans le cas d'un aimant de révolution, qui tourne autour de son axe, on s'est demandé si les lignes de force tournaient avec l'aimant ou si l'aimant se déplaçait dans son champ immobile. Cette question ne semble pas encore tranchée pour tous les physiciens. Supposons maintenant que l'aimant mobile soit lui même de révolution ; une rotation de cet aimant, autour d'un axe parallèle à son axe de figure, peut être remplacée par deux mouvements, une translation qui amène l'axe de figure de la première position à la seconde et une rotation autour de cette seconde position. Dans le premier de ces deux mouvements, il y a des lignes de force coupées par le courant central ; dans le second, il y en a ou il n'y en a pas suivant l'hypothèse adoptée. Le flux total coupé par le courant fermé reste le même, mais le flux coupé par le courant central est nul en définitive dans l'une des hypothèses, il ne l'est pas dans l'autre. On peut se demander ce qui se passe

Digitized by Google

dans le cas d'un mouvement de révolution de l'aimant autour du fil central et dans quelle mesure les deux composantes analytiques du mouvement jouent un rôle réel (1).

Cette difficulté ne se présente pas si l'on calcule les forces qu'exerce sur un aimant un élément de courant d'après les formules d'Ampère. La force exercée rencontre évidemment l'élément de courant et ne peut déterminer aucune rotation. M. Lecher rappelle que cette remarque a été faite par M. Margules (*Wied. Ann.* VI, p. 59). Ampère avait déjà indiqué que l'action de cette partie verticale du courant est de tendre à faire tourner l'aimant sur lui-même ; c'est de cette remarque qu'il est parti pour disposer l'expérience bien connue où un aimant traversé dans une moitié de sa longueur par un courant prend un mouvement de rotation autour de son axe (2). Il est clair que l'accord qui se rencontre ici entre la théorie du flux de force et celle d'Ampère ne prouve rien contre l'explication déduite des expériences de Biot et Savart. Cet accord est la conséquence du fait que les formules auxquelles conduisent ces deux théories pour l'action d'un pôle sur un élément de courant sont les mêmes et qu'elles supposent en outre l'égalité de l'action et de la réaction.

C. RAVEAU.

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

TRANSFORMATEURS

Les régulateurs de tension pour courants polyphasés sont généralement formés de plusieurs régulateurs distincts, un sur chaque phase. Ces appareils dont nous avons déjà donné une description (3) sont généralement des transformateurs à rapport de transformation variable, dont l'un des enroulements est monté en dérivation sur la ligne ou sur deux conducteurs du réseau polyphasé et l'autre en série avec l'un des conducteurs.

On peut aussi employer pour régler la tension sur un réseau polyphasé un appareil unique, transformateur polyphasé à rapport de transformation variable ; c'est ce que proposent MM. SIEMENS et HALSKE (4).

L'appareil est en somme constitué par un véritable moteur asynchrone dont la partie intérieure peut se déplacer d'un certain angle par rapport à la partie extérieure fixe. La figure 1 représente une vue schématique d'un appareil de ce genre pour distribution par courants triphasés ; chacune des parties de l'appareil porte trois enroulements distincts a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3, et A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3, dont les axes sont déplacés entre eux de 120°.

Si, comme le montre cette figure, on dispose les trois enroulements de la partie mobile ou intérieure en dérivation sur les trois circuits du réseau à courants triphasés L_1, L_2, L_3, on

(1) J'ajouterai, puisque j'ai parlé de la question, que dans l'hypothèse qui considère le champ comme indépendant, le mouvement de l'aimant soulève une grosse difficulté : un aimant n'est jamais *rigoureusement* de révolution ; nous n'aurions donc aucune raison de nous poser la question au point de vue expérimental. Pour qu'elle pût subsister, il faudrait faire, sur le mouvement du champ qui accompagne celui d'un aimant, une hypothèse générale qui permit de passer, *d'une façon continue*, au cas théorique de l'aimant de révolution.

(2) AMPÈRE. *Expériences relatives aux nouveaux phénomènes électromagnétiques obtenus au mois de décembre* 1821 (Ann. de Chim. et de Phys. [2], t. XX, p. 60-74, 1822, et *Mémoires sur l'électrodynamique*, t. I, p. 200).

(3) Voir notre article « Machines dynamo-électriques : Transformateurs », *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 230, 1898.

(4) Brevet anglais n° 24949, 4 figures. Déposé le 25 novembre 1898, délivré le 18 février 1899.

Digitized by Google

créera dans l'appareil un champ tournant qui induira dans les enroulements a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3 de la partie extérieure trois forces électromotrices égales entre elles et décalées d'un tiers de période comme les tensions du réseau d'alimentation.

La valeur efficace des forces électromotrices induites dépend, en admettant qu'il n'y ait pas de fuites magnétiques, uniquement du nombre de spires des deux séries d'enroulement et des tensions sur le réseau, mais leur déplacement de phase par rapport aux tensions du réseau varie avec la position des enroulements des parties de l'appareil.

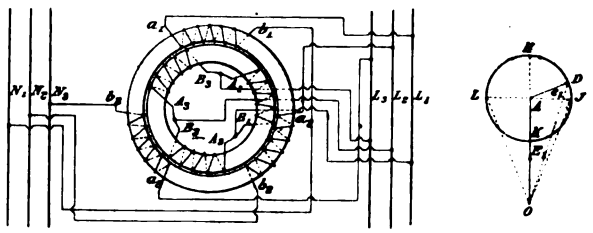


Fig. 1 et 2. — Régulateur de tension pour réseaux à courants triphasés de Siemens et Halske. Schéma général et composition géométrique de la tension simple du réseau d'alimentation et de la tension du régulateur.

Il en résulte que si l'on dispose les enroulements a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3, en série avec le circuit d'utilisation N_1, N_2, N_3, les tensions simples entre les bornes de ce nouveau circuit et le point neutre, lesquelles sont égales aux tensions simples du réseau d'alimentation augmentées de celles des enroulements a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3, pourront être variées dans une certaine mesure. En effet les tensions résultantes s'obtiendront en faisant la somme géométrique (fig. 2) du vecteur de la tension E avec le vecteur AD $= e_1$ de la tension dans a_1b_1 par exemple, lequel peut pour une rotation d'un tour complet de la partie fixe par rapport à la partie mobile prendre par rapport à E_1 toutes les directions possibles. En fait la tension simple dans le réseau d'utilisation pourra varier d'une façon continue de $E_1 - e_1$ à $E + e_1$, c'est-à-dire de $2e_1$.

Lorsqu'un courant traverse chacun des enroulements en série avec les conducteurs du réseau, un couple existe ici entre les deux parties de l'appareil, lequel aurait pour effet de faire tourner l'appareil. Pour éviter cette rotation il est nécessaire de munir la partie mobile d'un frein, il suffit pour cela de disposer sur l'arbre une roue dentée engrenant avec une vis sans fin qui sert en même temps à la manœuvre de l'appareil.

Cette manœuvre peut se faire soit automatiquement, soit à l'aide d'un dispositif automatique quelconque faisant tourner la vis sans fin dans un sens ou dans l'autre suivant que la tension est trop faible ou trop forte.

Les transformateurs de M. O.-T. Blathy (1) destinés plus spécialement aux hautes tensions ont pour avantages principaux de réduire considérablement les matières isolantes et d'assurer une bonne ventilation de l'appareil. L'inventeur obtient ce double but en subdivisant des enroulements, en les entrelacant et en séparant les sections les unes des autres par des bagu ettes isolantes placées à angle droit avec la direction des enroulements, ménageant ainsi entre les bobines des canaux par lesquels l'air peut pénétrer ou sortir. A l'entrelacement, près ce dispositif n'est autre que celui employé par les constructeurs qui ne disposent pas les enroulements extérieurs des transformateurs à noyaux sur une carcasse unique (2).

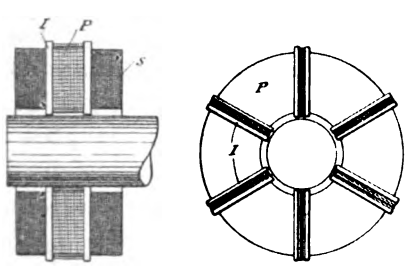


Fig. 3 et 4. — Coupe partielle d'un transformateur Blathy et vue d'une bobine.

(1) Brevet anglais n° 26251, 11 figures. Déposé le 12 décembre 1898, délivré le 18 février 1899.

(2) Voir notre article sur « Le nouveau matériel générateur de la Société d'Éclairage et de Force », t. X, p. 55, 1899.

Digitized by Google

Le procédé le plus simple pour former ces canaux est celui montré sur les figures 3 et 4 représentant une coupe partielle d'un transformateur et une bobine vue de face. Les baguettes en matière isolante I sont enfoncées radialement jusqu'au fer et un espace est maintenu entre la surface intérieure de la bobine et le fer de façon à livrer passage à l'air.

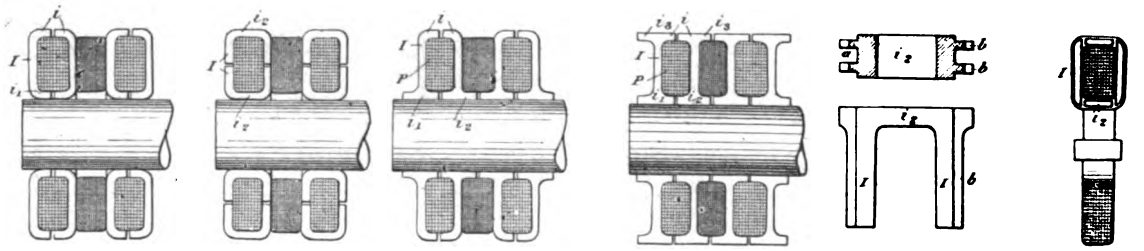


Fig. 5 à 10. — Transformateurs Blathy. Coupes partielles de différents transformateurs avec canaux de ventilation. Coupe et vue d'une pièce isolante pour l'écartement des bobines. Coupe partielle d'un transformateur Blathy (variante).

Ces baguettes peuvent porter des rainures qui permettent de les fixer, avec une corde ou toute autre matière isolante, deux par deux après les bobines.

Les figures 6, 7 et 8 indiquent différents autres dispositifs des pièces isolantes pour la formation des canaux de ventilation. Sur la figure 5 ces pièces ont la forme d'U entourant la moitié de la section de la bobine; elles sont placées deux par deux. Sur la figure 6 la disposition est la même, mais les U sont placés l'un à l'intérieur l'autre à l'extérieur.

Les dispositifs indiqués sur les figures 7 et 8 correspondent à des pièces isolantes épousant à la fois les formes des deux bobines mêmes, soit seulement à l'intérieur, soit à la fois à l'intérieur et à l'extérieur.

Dans l'arrangement montré sur la figure 9 les pièces I sont placées à l'intérieur, la partie i_1 contre le fer, et la partie extérieure de la bobine est complètement libre ; dans ce cas comme dans celui de la figure 8 des canaux *a* peuvent être formés par les nervures *b*.

Enfin dans le dispositif de la figure 10 les pièces isolantes entourent complètement la section droite de la bobine.

Il suffit que les sections d'un même enroulement soient munies des U isolants, mais on peut aussi en munir les sections du second enroulement.

Les transformateurs de M. Levavasseur(1) appartiennent au type cuirassé. Les tôles sont découpées en forme d'équerre de charpentier ou d'L à branches égales ; elles sont généralement de deux espèces différentes, les unes ayant les côtés de l'L égaux chacun à une certaine longueur (fig. 11) et les autres à la même longueur augmentée de la largeur de la tôle (fig. 12). On peut alors avec ces tôles soit former des carrés ou des rectangles en ayant soin d'alterner les L pour éviter les joints dressés ; avec une quelconque des deux séries, on peut aussi former des rectangles mais sans éviter toutefois les joints.

L'enroulement primaire peut être formé en une seule partie ou en plusieurs parties superposées et isolées entre elles par plaques isolantes formées de feuilles de papier ou d'une matière isolante convenable.

Les plaques sont placées au milieu d'une feuille de papier dont les côtés (fig. 13) sont repliés et ramenés vers l'intérieur de façon à ce que les bords soient parallèles l'un à l'autre et à une distance de 1 à 2 mm ; de plus des cordes en matières isolantes *cc* sont

(1) Brevet anglais n° 16291, 25 figures. Déposé le 26 juillet 1898, délivré le 26 juillet 1899.

Digitized by Google

placées dans les plis pour renforcer les bords et sont destinées à maintenir les spires en place. Toutes les feuilles isolantes ainsi préparées sont placées sur un moule en bois (fig. 14) pour leur donner une dimension identique.

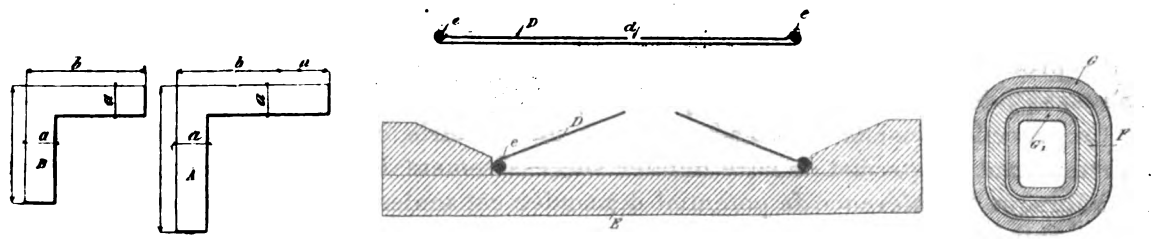


Fig. 11 à 15. — Transformateurs Levavasseur. Forme des tôles découpées. Construction d'une bande isolante pour la séparation des sections des enroulements. Coupe des enroulements d'un transformateur à trois bobines, une pour un enroulement et deux pour l'autre.

Les bobines sont isolées extérieurement par du papier ou de la toile imprégnée de paraffine, gomme laque ou verni.

Pour diminuer les fuites magnétiques on peut, comme il est bien connu, disposer l'un des enroulements en deux parties concentriques comprenant intérieurement le second enroulement comme le montre la figure 15.

Ces bobines sont placées entre deux des rectangles formés par les tôles et l'appareil complet est enfermé dans une caisse formée d'un socle I et d'un chapeau II (fig. 16 et 17) réunis entre eux par quatre boulons K à l'aide des oreilles *h* et *i* venues de fonte avec ces pièces.

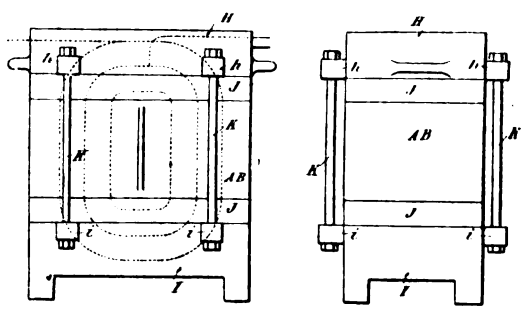


Fig. 16 et 17. — Vues d'un transformateur Levavasseur.

Les tôles sont isolées du bâti par des cadres isolants J. Les extrémités des enroulements aboutissent à des prises de courant représentées sur la figure 18 et consistant en un tube de papier L entourant le conducteur *l*, lequel est soudé à une pièce métallique l_1 portant la borne dans laquelle est serré le fil l''. Un tube isolant M enveloppe la borne et le fil de sortie.

Les transformateurs de MM. Verity's et C^ie^ et Steele (1) sont du type à noyaux (fig. 19, 20 et 21). Les paquets de tôles horizontaux $a_2 a_2$, sont logés, le supérieur dans le chapeau *c* et l'inférieur dans le socle *d*, ces deux parties étant réunies par des boulons *ee* qui sont ici seulement au nombre de deux et placés au milieu de l'appareil.

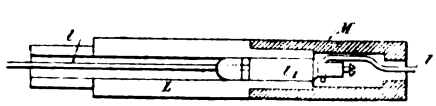


Fig. 18. — Coupe d'une prise de courant d'un tranformateur Levavasseur.

Le chapeau porte une rainure g_2 dans laquelle s'engage l'enveloppe *g* qui entoure complètement trois des faces de l'appareil et qui est fixée également au socle par des vis telles que g_4.

La quatrième face latérale du transformateur est occupée par une plaque en matière isolante *m* qui porte les bornes des deux circuits de l'appareil et à laquelle est fixée l'enveloppe *g*.

Ces transformateurs sont étudiés spécialement en vue de l'éclairage à arc; à cet effet le

(1) Brevet anglais n° 21467, 3 figures. Déposé le 12 octobre 1898, délivré le 12 août 1899.

Digitized by Google

secondaire est divisé en un certain nombre de tronçons dont les points de jonction aboutissent à des bornes placées sur la plaque. Les lampes sont branchées sur circuits spéciaux pour éviter d'être mises en série sur la différence de potentiel totale du secondaire : ce dispositif permet d'éviter en même temps l'emploi de résistance ou de self-induction trop grande pour absorber la tension en lieu et place des lampes absentes.

Le procédé de transformation du courant continu imaginé par le professeur H.-P.-J. THOMSEN (1) de Copenhague est des plus simples et ne présente qu'un intérêt de laboratoire.

Ce procédé consiste dans l'adaptation à une batterie d'accumulateurs d'un commutateur tournant qui permet de faire débiter successivement les divers tronçons de cette batterie lorsque la différence de potentiel demandée est seulement de quelques volts.

On obtient ainsi pour un même courant de décharge le même débit que si la batterie fonctionnait avec tous ses éléments en série ; ce procédé n'est donc nullement un procédé de transformation, à moins qu'on admette qu'on peut profiter de l'intermittence des décharges pour augmenter le régime de décharge. Dans tous les cas il n'y a pas là une transformation au sens propre du mot.

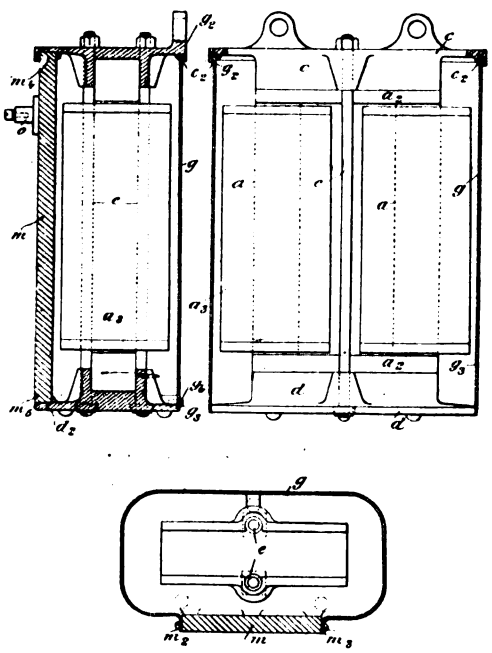


Fig. 19, 20 et 21. — Vues et coupes parallèles d'un transformateur Véritys et Steele.

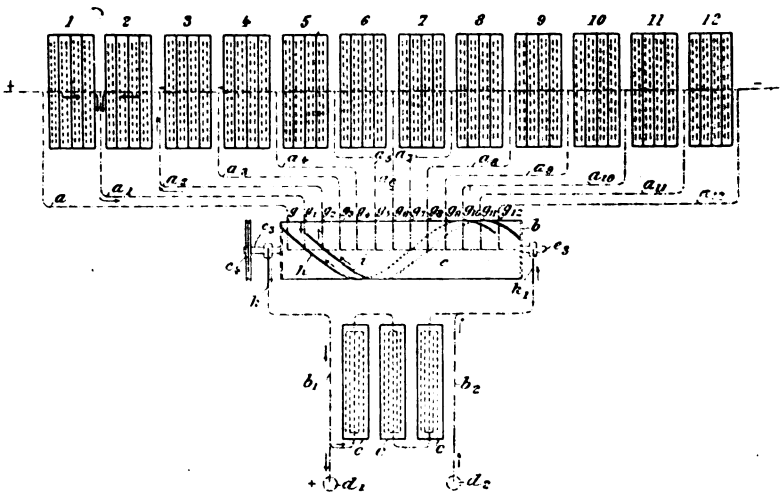


Fig. 22. — Commutateur tournant Thomsen.

Dans l'exemple donné par M. Thomsen, la batterie dont les éléments sont montés en série est partagée (fig. 22) en douze tronçons et les pôles extrêmes ainsi que les points de jonction sont reliés par des conducteurs $a, a_1, \ldots a_{12}$, à treize frotteurs $g, g_1, \ldots g_{12}$, glissant sur un cylindre e en matière isolante et portant encastrées sur sa surface deux hélices conductrices h et i connectées à deux bagues de prises de courant, sur lesquelles frottent les balais k et k_1. Tous les frotteurs ont une certaine largeur et sont séparés entre eux par une distance un peu plus grande que la largeur des hélices suivant une génératrice du cylindre e ; le cylindre est conduit par un dispositif quelconque qui lui permet d'effectuer un tour complet en 2 ou 3 secondes.

La faible largeur des hélices empêche les différents tronçons d'être mis en court-circuit, mais produit des interruptions dans le passage du courant. Ces interruptions peuvent

(1) Brevet anglais n° 1232, 4 figures. Déposé le 18 juillet 1899, délivré le 18 mars 1899.

Digitized by Google

être évitées à l'aide d'un *compensateur* formé d'une petite batterie c montée en dérivation aux bornes du circuit d'utilisation $b\,b_1$. Chaque élément de la petite batterie auxiliaire c a une capacité plus grande que chaque élément de la batterie principale, mais le nombre d'éléments de chaque tronçon de cette dernière est plus grand que celui de la batterie compensatrice. Cette batterie se trouve donc en charge tant que la batterie principale débite et en décharge lorsque celle-ci est à circuit ouvert.

C.-F. GUILBERT.

ACCUMULATEURS POUR AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

LE CONCOURS INTERNATIONAL DE L'AUTOMOBILE-CLUB(1)

10-O. — ACCUMULATEUR BLOT-FULMEN (2).

Plaques. — Les plaques de cet élément (fig. 8) appartiennent à deux types différents. La positive est à formation autogène genre Planté et la négative est à pastilles du type de l'élément Fulmen dont nous donnons la description plus loin.

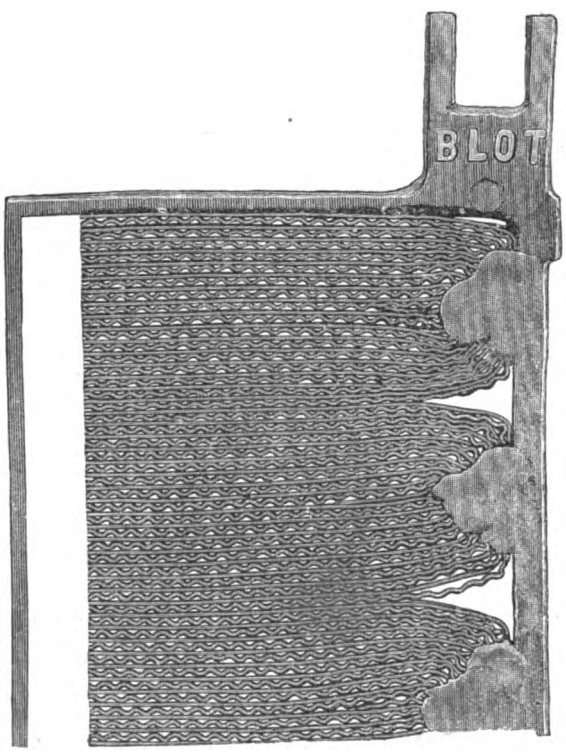


Fig. 8. — Plaque positive.

La plaque positive est formée de 6 navettes horizontales soudées à un cadre en plomb antimonié. Le montant vertical de ce cadre a 4 mm de largeur du côté où sont soudées les navettes, tandis que les autres montants ont 1,5 mm de largeur seulement sur l'épaisseur de la plaque : cette disposition a pour but de diminuer les dérivations dans le cadre. La largeur du cadre est supérieure à la longueur des navettes, de telle sorte que la dilatation de ces navettes peut se faire sans entraves.

Les navettes sont formées de 8 rubans unis alternant avec 8 rubans ondulés qui servent à maintenir entre eux un écartement convenable. La longueur des navettes étant de 105 mm, celle des rubans est d'environ 210 mm sur une largeur de 8 mm. La surface active de chacune navette, en tenant compte de l'ondulation, est d'environ 5 dm². Comme il y a 6 navettes semblables, la surface totale d'une plaque est d'environ 30 dm² et la surface active des 6 plaques constituant l'élément de 1 m² 7742. Cette surface correspond à un débit de 0,67 ampère par décimètre carré.

(1) Voir *Éclairage Électrique* des 13 et 27 janvier, p. 57 et 130.
(2) Voir *Éclairage Électrique*, t. XX, p. 96, 22 juillet 1899.

Digitized by Google

Les navettes sont réunies au cadre par une forte soudure au plomb antimonié et groupées par 3 par un entre-toisement de ce cadre.

La queue de cette plaque a une forme un peu spéciale justifiée par le mode de montage.

Montage. — Les plaques de même polarité sont réunies par une traverse en plomb antimonié qui vient pénétrer dans les encoches que portent les queues et y est soudée.

L'ensemble des plaques repose sur un cadre en ébonite placé au fond du bac. Après montage, on place au-dessus des plaques une lame de verre.

L'isolation des plaques entre elles est obtenue par des lames en ébonite perforée et ondulée.

Électrolyte. — Le volume de l'électrolyte correspond à une quantité d'acide libre (SO^4H^2) de 888 gr.

Bac. — Le bac est en ébonite; il porte à l'extérieur des nervures sur ses faces latérales. La fermeture est obtenue par une plaque en ébonite percée de trois trous dont deux pour les connexions et un pour l'évacuation du gaz; cette plaque pénètre à frottement dur à l'intérieur du bac.

Les bacs sont réunis électriquement entre eux par des lames de clinquant en cuivre rouge recuit de 0,2 mm d'épaisseur, serrées sur les queues de connexion à l'aide d'écrous, montées sur des tiges filetées qui traversent les lames et les queues; le tout est vaseliné quand le serrage est fait.

Le tableau suivant indique les données caractéristiques de cet accumulateur.

Plaques positives.

Nombre	8
Dimensions en cm :	
Hauteur	20
Largeur	12,5
Épaisseur	0,8
Poids en kg	1,12
Poids du cadre en kg	0,3
Section approximative du cadre en mm²	30
— de la queue de connexion en mm².	160
Surface active en dm²	30
Surface apparente en dm².	4,60
Rapport de la surface active à la surface apparente	6,5

Plaques négatives.

Nombre	9
Dimensions en cm :	
Hauteur	18,3
Largeur	10
Épaisseur	0,4
Poids en kg	0,6
Poids du cadre en kg	0,2
Poids de la matière active en kg	0,4
Section du cadre en mm²	8
Section de la queue de connexion en mm²	20
Écartement des plaques en mm	5

Bac et connexions.

Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	26
Longueur	19
Largeur	13,6
Poids du bac en kg	1,125

Électrolyte.

Poids en kg	3
Volume approximatif en dm³	2,5
Densité :	
Fin de charge	1,22
Fin de décharge	1,16
Poids total de l'élément complet en kg	19,6

II-N. — Accumulateur Fulmen [1].

Plaques. — Les plaques de cet élément (fig. 9 et 10) sont du type à pastilles emprisonnées dans un grillage spécial en plomb antimonié.

Le grillage de la positive est formé par la superposition de deux grilles identiques dont les séparations ont une section en forme de trapèzes et l'accolage est fait de telle sorte que les petites faces des trapèzes soient en contact.

[1] Voir *Écl. Élec.*, t. XVII, p. 313, 19 novembre 1898.

Digitized by Google

Les pastilles sont au nombre de 30 ayant comme dimensions extérieures 25,5 × 16,5 mm; elles sont percées de 8 trous et se trouvent encastrées dans les deux grilles qu'elles affleurent de chaque côté.

Les cloisons constituant la grille ont une largeur de 2,5 mm et sont apparentes, ainsi que le cadre extérieur, qui a 3 mm de largeur. Aux points de rencontre de ces cloisons, existe un renforcement. Le grillage de la négative est identique au précédent, sauf qu'il n'y a pas de renforcement aux angles des cloisons et que sur chaque pastille se trouve un petit quadrillage très léger de 1/2 mm d'épaisseur qui divise la surface de la pastille en

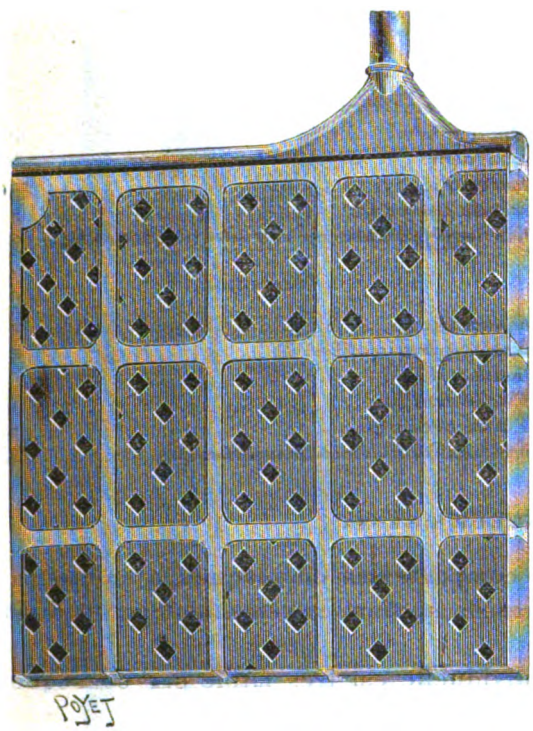
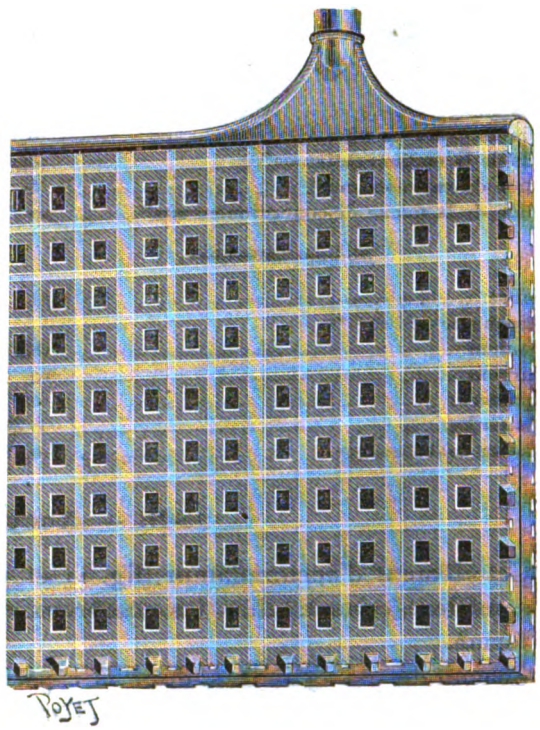


Fig. 9. — Plaque positive.



Plaque négative.

12 parties égales. Ce quadrillage supplémentaire forme un réseau qui retient la matière active.

La partie supérieure du cadre des deux plaques a une largeur un peu supérieure aux autres côtés et porte la queue de connexion formée d'une tige de tige de plomb antimonié à section circulaire formant le prolongement d'une sorte d'embase.

Les plaques de même polarité sont soudées à une barre de plomb antimonié de forme rectangulaire ayant 15 × 5 mm. L'empâtage de ces plaques est fait de telle sorte que toutes les divisions de la grille, ainsi que les cadres, émergent de la matière active.

Montage. — Les plaques sont maintenues à distance du fond du bac par des tasseaux en caoutchouc d'une section triangulaire tronquée, dont la grande base est en caoutchouc dur et le sommet en caoutchouc souple.

L'écartement des plaques est assuré par des feuilles en ébonite ondulée perforée.

Électrolyte. — Il contient 736 gr. de SO^4H^2.

Bac. — Les bacs sont en ébonite unie de 3,5 mm d'épaisseur, le fond a 4 mm. Ils sont couverts par une plaque d'ébonite qui pénètre à l'intérieur du bac d'environ 2 cm et est

Digitized by Google

percée de deux trous latéraux circulaires qui laissent passer les queues de connexion et d'un trou central fermé par un bouchon pour l'évacuation des gaz à la charge.

Les éléments sont réunis entre eux par des lames de clinquant en cuivre rouge de 2,10 mm d'épaisseur serrées contre les queues de connexion par des écrous de cuivre qui les vissent sur des tiges filetées comme dans l'élément n° 10, et le tout est vaseliné.

Voici les poids et dimensions des diverses parties de cet accumulateur.

Plaques positives.

Nombre	10
Dimensions en cm :	
Hauteur	18,3
Largeur	10
Epaisseur	0,4
Poids en kg	0,445
Poids du cadre en kg	0,16
Poids de la matière active en kg	0,285
Section du cadre en mm²	8
Section de la queue de connexion en mm²	20

Plaques négatives.

Nombre	11
Dimensions en cm :	
Hauteur	18,3
Largeur	10
Epaisseur	0,4
Poids en kg	0,44
Poids du cadre en kg	0,18
Poids de la matière active en kg	0,26
Section du cadre en mm²	8
Section de la queue de connexion en mm²	20
Ecartement des plaques en mm	4

Bac et connexions.

Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	24
Longueur	18
Largeur	11,3
Poids du bac en kg	1,7
Poids des séparations isolantes des plaques en kg.	0,35

Électrolyte.

Poids en kg	2,2
Volume approximatif en dm³	1,8
Densité :	
Fin de charge	1,26
Fin de décharge	1,16
Poids total de l'élément complet en kg	13,5

12-H. — Accumulateur Phénix

Cet élément d'accumulateur (fig. 11 et 12) ne comporte pas de plaques, à moins qu'on ne considère comme telles les nombreux cylindres de section extrêmement petite dont il est formé.

Chacun de ces cylindres, dont la capacité individuelle est très faible par conséquent, est lui-même formé de six cylindres élémentaires soudés bout à bout.

Le cylindre élémentaire est formé d'une tige de plomb antimonié recouverte d'un empâtage de matière active ; cette tige de plomb de 2 mm de diamètre, d'une longueur de 7 cm entre les deux épaulements qu'elle porte haut et bas et qu'on voit sur la figure se prolonge au delà de ces épaulements sur une longueur de 5 mm environ.

Le diamètre du cylindre empâté est de 6 mm ; l'empâtage affleure l'épaulement supérieur ; quant à l'épaulement inférieur dont le diamètre est un peu plus grand, il déborde légèrement l'empâtage. C'est sur ce dernier épaulement que viennent reposer des rondelles en ébonite qui sont empilées de façon à recouvrir complètement toute la hauteur du cylindre. Ces rondelles sont découpées dans un tube d'ébonite de 0,3 mm d'épaisseur et elles ont une largeer de 0,1 mm.

Les cylindres positifs et négatifs sont absolument identiques comme construction.

Montage. — Le montage de cet élément est très particulier : tous les chapelets de cylindres constituant l'élément sont soudés, les positifs à une plaque, les négatifs à une autre plaque. Ces plaques, en plomb antimonié, sont superposées, la positive étant placée au-dessus, et comme elles ont mêmes dimensions puisque les cylindres sont réunis en quinconce, en alternant positif et négatif, la plaque inférieure est percée de trous pour laisser passer les cylindres de la polarité contraire à celle des cylindres qu'elle doit réunir élec-

Digitized by Google

triquement. Chacune des plaques porte, en outre, autant de petits trous du diamètre des âmes des cylindres qu'il y a de chapelets de cylindres pour constituer l'élément.

Une plaquette d'ébonite percée de trous pour laisser passer les cylindres repose sur la partie supérieure des chapelets.

Les parties inférieures des tiges pénètrent dans les trous d'une plaquette identique qui est maintenue en place par des grains de soudure placés à l'extrémité de chaque tige.

Électrolyte. — Il est formé d'une dissolution d'acide sulfurique contenant 1368 gr de SO^4H^2.

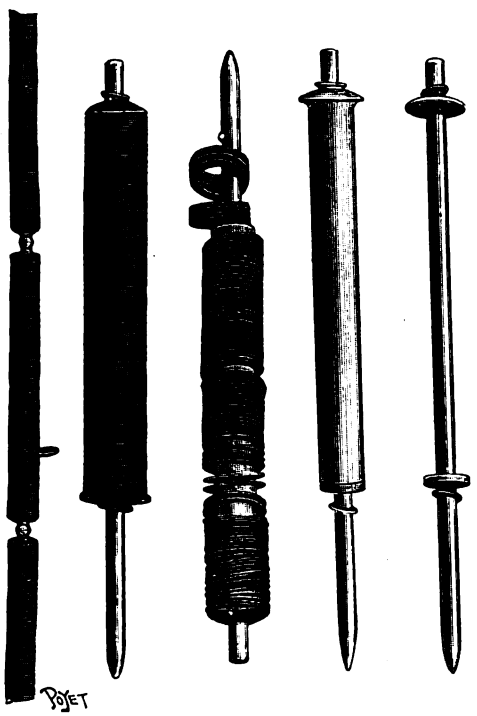


Fig. 11. — Détail des plaques.

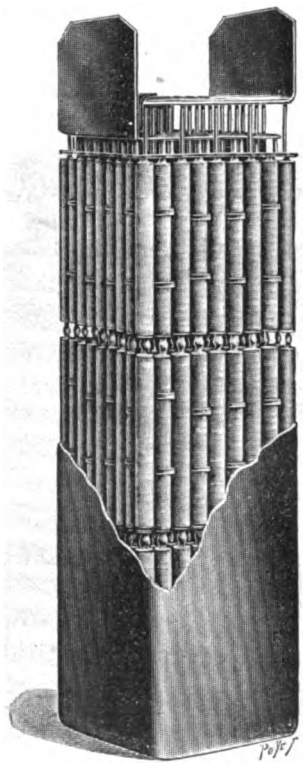


Fig. 12. — Ensemble de l'élément.

Bac. — Le bac est en ébonite unie ; il ne porte pas de couvercle, mais la fermeture est assurée par une couche de paraffine coulée sur les plaques une fois que l'élément est complètement monté.

Nous indiquons dans le tableau suivant les données caractéristiques de cet accumulateur.

Électrodes positives.

Dimensions en cm :	
Longueur	7
Diamètre	0,6
Poids total en gr	12
Poids du support en gr	4
Poids de la matière active en gr	8
Nombre d'électrodes	90,6 = 540

Électrodes positives.

Dimensions en cm :	
Longueur	7
Diamètre	0,6
Poids total en gr	12
Poids du support en gr	4
Poids de la matière active en gr	8
Nombre d'électrodes	90,6 = 540

Bac.

Dimensions en cm :	
Hauteur	57
Longueur	12
Largeur	12
Poids en kg	1
Poids des rondelles isolantes en kg	?

Digitized by Google

Électrolyte.	
Volume en cm³	3,8
Poids total en gr	4,8

Densité :	
Fin de charge	1,274
Fin de décharge	1,22
Poids total de l'élément complet en kg	18,4

22-S. — Accumulateur Pope

Plaques. — Les plaques de cet élément (fig. 13 et 14) sont à oxydes rapportés. Les positives sont constituées par une série de 9 cylindres ayant 13 mm de diamètre, soudés à la

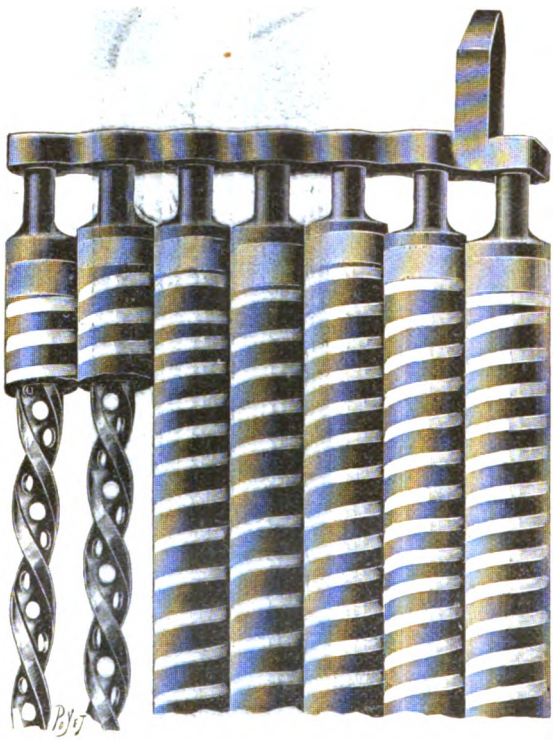


Fig. 13. — Plaque positive.

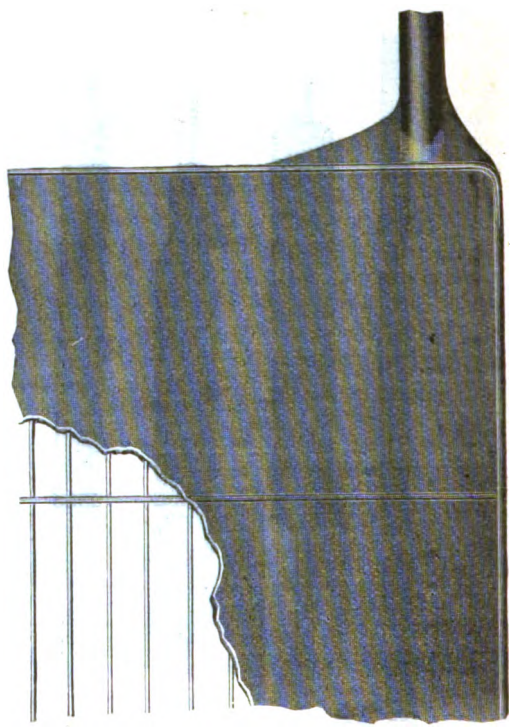


Fig. 14. — Plaque négative.

partie supérieure à une sorte de traverse qui porte la queue de connexion et réunis à la partie inférieure par une bande mince de plomb, qui n'a pour but que d'assurer la solidarité de l'ensemble.

Chacun des cylindres est obtenu par l'empâtage d'une âme en plomb antimonié, fondue, qui présente l'aspect d'une bande perforée tordue en spirale L'empâtage recouvre complètement la bande, de façon à former un cylindre, et la matière active y est maintenue extérieurement par un ruban en ébonite mince, qui, enroulé au moment de l'empâtage, pénètre dans la masse et l'affleure. Le ruban ainsi enroulé ne laisse apparaître que la moitié de la surface antérieure de la matière active.

La bande de plomb fermant l'âme des cylindres est terminée haut et bas par une tige ronde qui est soudée d'un bout à la traverse de connexion et rivée par l'autre bout sur la bande de plomb dont nous avons parlé plus haut.

La barre de plomb qui réunit les 9 cylindres porte également la tige de connexion ou queue de la plaque.

Digitized by Google

La plaque négative est formée d'un léger quadrillage en plomb antimonié empâté de matière active.

Le quadrillage consiste en une grille entourée par un cadre de faible section entretoisé dans le sens de la hauteur par 3 traverses; les barreaux de la grille ont une section extrêmement faible et divisent cette grille en 42 rectangles ayant 50 mm sur 6 mm. Le grand côté de ces rectangles est dans le sens de la hauteur de la plaque.

L'empâtage est fait de telle sorte que le cadre seul et l'entretoise émergent de la matière active qui recouvre complètement les divisions intermédiaires.

Une queue de connexion assez légère est venue de fonte avec le cadre.

Montage. — Les plaques positives sont enfermées dans une gaine en ébonite perforée et l'écartement des plaques est obtenu à la fois par cette protection des positives et par l'enveloppe également en ébonite perforée qui entoure les négatives.

Électrolyte. — Le volume de l'électrolyte correspond à 875 gr d'acide libre (SO^4H^2).

Bac. — Le bac est en ébonite, la face intérieure du fond porte cinq nervures parallèles au plus grand côté du bac. Le couvercle est en bois, de dimensions convenables pour pénétrer exactement à l'intérieur du bac; il porte deux trous rectangulaires pour le passage des tiges de connexion et un trou circulaire fermé par un bouchon pour l'évacuation des gaz à la charge.

Les chiffres suivants donnent les dimensions et poids des diverses parties de l'accumulateur.

Plaques positives.

Nombre	8
Dimensions en cm :	
Hauteur	20
Largeur	11,5
Épaisseur	1,3
Poids en kg	1,12
Section de la queue de connexion en mm²	28

Plaques négatives.

Nombre	9
Dimensions en cm :	
Hauteur	20
Largeur	11,5
Épaisseur	0,5
Poids en kg	0,6
Poids du cadre en kg	0,25
Poids de la matière active en kg	0,35
Section du cadre en mm²	5
Section de la queue de connexion en mm²	20

Bac et connexions.

Dimensions extérieures en kg :	
Hauteur	26,5
Longueur	20,7
Largeur	13,2
Poids du bac en kg	1,27

Électrolyte.

Poids en kg	2,34
Volume approximatif en dm³	1,85
Densité :	
Fin de charge	1,28
Fin de décharge	1,24
Poids total de l'élément complet en kg	20

(*A suivre.*)

A. BAINVILLE.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Séparateur magnétique J. Bromilow pour ateliers de construction, par **P. Chevillard**. *Revue industrielle*. t. XXXI, p. 4, 6 janvier 1900.

Cet appareil est particulièrement destiné à séparer, dans les copeaux, tournure ou limaille des ateliers de construction mécanique, le cuivre, le bronze et le laiton, du fer, de la fonte et de l'acier.

Il comprend un tambour tronconique *b* dont l'arbre, porté par un bâti en fonte, est actionné par une poulie *c* à courroie. Suivant les géné-

....

Digitized by Google

ratrices de ce tambour sont implantés normalement des électro-aimants *f* en des points situés sur une génératrice hélicoïdale, de façon à faire servir ces électro-aimants à la translation du mélange traité. Celui-ci est versé dans une trémie *o* et s'écoule dans une vis transporteuse *n* qui le déverse à la gauche d'une auge inclinée *d*, enveloppant en partie la moitié inférieure du tambour *b* à électro-aimants.

Un des côtés latéraux de cette auge est monté à charnière sur le bâti, tandis que l'autre est simplement suspendu à des ressorts *e*.

La matière traitée est déplacée vers les électro-aimants par des ailettes *t* convenablement recourbées et fixées sur le tambour dont la demi-périphérie supérieure est recouverte par une enveloppe *u*.

Chacun des électro-aimants *f* est constitué par une bobine coiffée d'un chapeau conique qui forme une enveloppe de protection des fils. En raison de la conicité de ces chapeaux, ils traversent la tournure traitée sans l'entraîner dans leur mouvement de rotation et par suite sans déverser le cuivre ou le bronze dans le compar-

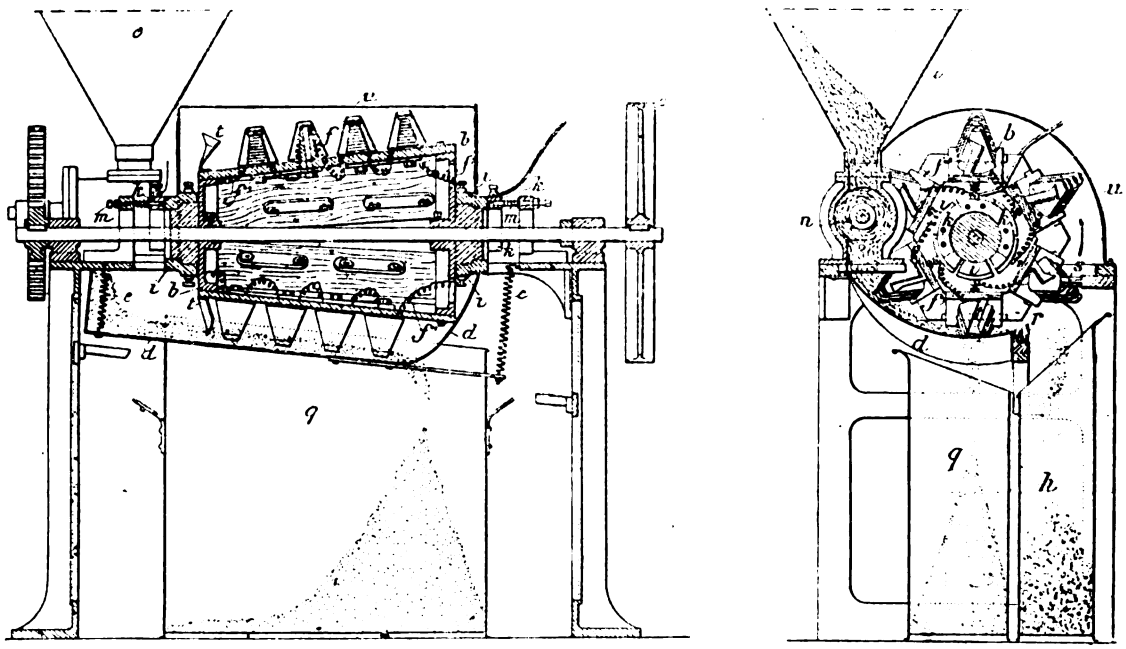


Fig. 1 et 2. — Coupes longitudinale et transversale d'un séparateur Bromilow.

timent *h* réservé à la réception des métaux magnétiques ; les premiers sont d'ailleurs détachés des électro-aimants et retenus dans l'auge par une brosse longitudinale *r* qui en borde le côté libre. Les fils de chaque rangée de bobines sont reliés ensemble ; leurs extrémités *f* aboutissent à des segments en cuivre soigneusement isolés les uns des autres, qui forment deux collecteurs annulaires *i*, établis concentriquement sur chacun des fonds. A une rangée de bobines, correspondent ainsi deux segments occupant des positions symétriques dans les collecteurs ; sur les deux tiers de la surface circulaire de ces derniers presse une sorte de fer à cheval en cuivre *k*, formant un contact fixe dont le serrage est réglé par des vis tendant plus ou moins les ressorts *m*. Des fils venant de la source électrique employée sont reliés par des bornes avec les collecteurs *i*, qui mettent ainsi dans le circuit du courant toutes les rangées de bobines correspondant aux segments en contact avec l'étrier *k* ; en fait, l'un de ces segments est toujours entièrement découvert et par conséquent, mis hors du circuit.

Grâce à la disposition hélicoïdale donnée aux rangées d'électro-aimants, ceux-ci brassent et déplacent la matière traitée vers la droite ; en même temps, ils captent les particules des métaux magnétiques, qui y restent adhérentes, jusqu'à ce que le segment de commutation d'une

Digitized by Google

rangée de bobines arrive à être découvert par l'étrier *k*. Dès lors, toutes les bobines correspondantes sont démagnétisées, et comme à ce moment elles se trouvent précisément au-dessus du compartiment *h*, les fragments de fer ou d'acier qu'elles ont séparés de la masse, tombent dans ce dernier. Des brosses *s* établies sur le bâti, suivant une génératrice du tambour, aident au besoin au détachement de ces particules.

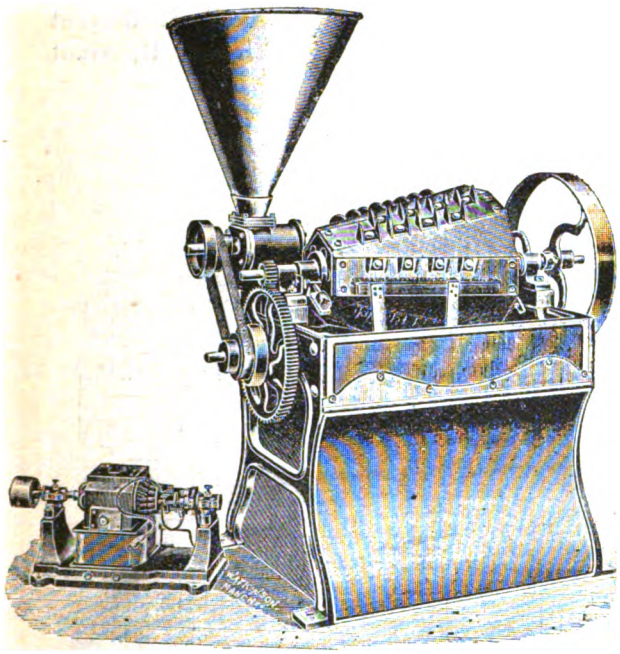


Fig. 3. — Vue d'un séparateur Bromilow, dernier modèle.

La tournure de cuivre ou de bronze, qui arrive seule à l'extrémité basse de l'auge *d* tombe directement dans la boîte *q*, disposée à l'intérieur du bâti.

Dans le type représenté en vue perspective (fig. 3) quelques modifications de détails ont été apportées à l'appareil. Les électro-aimants excitent des armatures de fer doux, qui, avec des plaques destinées à les isoler entre elles, constituent l'enveloppe du tambour ; sur ces armatures sont montées des équerres en U dont la disposition hélicoïdale assure la propulsion de la matière traitée ; enfin, les électro-aimants ne sont excités que pendant leur passage dans cette dernière. On voit en surélévation du bâti, la brosse longitudinale destinée à arrêter au passage les particules de métaux qui restent adhérentes à l'armature démagnétisée.

Ce type de séparateur peut traiter 2 tonnes de tournure par jour ; il tourne à 30 tours par minute et exige un courant de 21 ampères sous 7 volts ; son poids est de 180 kg. La puissance requise pour actionner le séparateur et la dynamo d'excitation n'est que d'un cheval.

Appareil pour block-système avec protection contre les trains inverses, par **O. Willach.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 531, 27 juillet 1899.

Les chemins de fer autrichiens ont établi sur quelques lignes un block-système nouveau qui protège non seulement les trains marchant dans une direction mais aussi les trains se dirigeant en sens inverse. Ce système suppose les conditions suivantes :

1° Un poste ne peut rendre libre le signal du poste qui le précède qu'après avoir couvert et bloqué la section qui le suit, après le passage du train ;

2° Cette manœuvre n'est possible que lorsque la dernière voiture du train a franchi un certain rail isolé situé à proximité du signal ;

3° Si un train doit quitter une station A pour se rendre à une station B, cette dernière doit d'abord en envoyer l'autorisation à A, par un signal qui immobilise en même temps le signal de départ de B et rend libre celui de A.

La première condition est remplie par les appareils de bloquage Siemens. Pour remplir la seconde, on isole un rail en remplaçant les éclisses en fer par des éclisses de bois et on remplit l'intervalle entre deux rails par un isolant. Si un train passe sur ce rail le courant d'une batterie se trouve fermé et attire l'armature d'un relais R. Cette armature ferme par un contact le courant d'une seconde batterie, ce qui ouvre le système d'ouverture AV ; le poussoir de ce système est relié par une barre au poussoir du signal de bloquage S, de sorte que l'on ne peut agir sur ce signal qu'après libération du système AV. En outre le courant variable qui passe par le rail ne peut être entièrement nul qu'après le passage de la dernière voiture sur le rail isolé ; alors l'armature du relais retombe et rétablit le circuit de bloquage. Pendant l'arrêt du signal, le courant du relais est interrompu : le signal en prenant sa position d'arrêt interrompt des contacts et le dispositif d'ouverture, suivant qu'il est fermé ou libre, ferme les contacts doubles C_1 ou C_2.

Digitized by Google

Pour remplir la troisième condition on se sert de blocks z_1, z_2, z_3, en nombre égal au nombre des sections de bloquage entre ces deux stations. Ils agissent sur un block récepteur ZS*t*. Si une première indication a été envoyée par le signal Z_1 permettant le départ d'un train, le deuxième signal Z_2 ne peut permettre le départ d'un deuxième train que lorsque le premier train a dépassé le rail isolé du poste le plus voisin de la station A et que le gardien du poste a mis son signal à l'arrêt : alors le block de station ZB de la station A a son signal blanc.

A la station B, chaque signal de départ envoyé à A forme le signal de départ de B au moyen de la glissière S_6 ; ainsi si B envoie 3 signaux, cette manœuvre se produit trois fois. D'autre part chaque train arrivant à la station B rend libre le signal d'entrée par sa traversée du rail isolé. Ce même signal peut être mis à la position d'arrêt, ce qui supprime la permission de départ pour le train et l'une des immobilisations du signal de sortie. Si par exemple trois trains consécutifs sont partis de A pour B, ils doivent nécessairement être tous entrés en B, avant

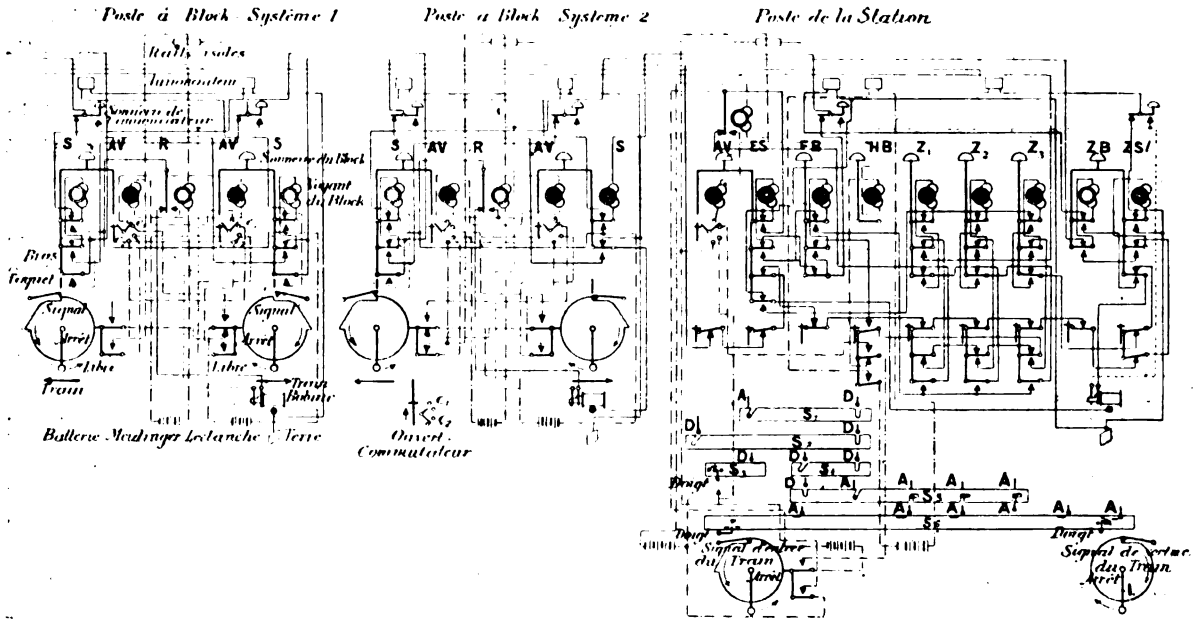


Fig. 1.

que le signal de sortie de cette gare ne devienne libre et ne puisse permettre le départ d'un train inverse de B vers A.

Le courant de la batterie agit en même temps sur un block de secours HB qui ferme le courant destiné à lever le signal Z ; dans les stations où les postes sont bloqués, le block de secours à sa position de fermeture interrompt la communication du poste avec le poste à block le plus voisin et ne rétablit cette communication qu'après passage du train sur le rail isolé ; si donc la station a donné une indication erronée, le gardien peut la rétablir en frappant sur une touche qui n'agit que sur son propre signal sans atteindre celui de la station. Tant que le block de secours est à sa position d'ouverture, une sonnerie spéciale tinte.

La dépendance entre les poussoirs et verrous des appareils à blocks et des signaux de la station est réalisée au moyen des traverses horizontales S. La traverse S_1 empêche d'appuyer sur le block de secours quand le signal d'entrée est libre ; la traverse S_2 empêche d'appuyer en même temps sur la touche double AV,ES et sur le block de secours ; la traverse S_3 est poussée à gauche par le doigt qui ouvre le signal d'entrée, et ferme en même temps le block du signal d'entrée, la traverse S_4 empêche de presser en même temps les blocks HB et FB ; la traverse S_5 empêche d'agir sur le signal Z et le block FB quand le block de secours est rendu libre ; la traverse S_6 est poussée à droite par le doigt qui ouvre le signal de sortie ; le même mouvement met le signal d'entrée à l'arrêt et ferme les

Digitized by Google

blocks FB, Z, ZB, ZS*t*; inversement ces derniers ferment le signal de sortie au moyen des barres situées à leurs parties inférieures.

Lorsqu'un train entre dans la station, les manœuvres sont les suivantes : le poste 2 avertit la station avec l'annonciateur ; la station rend libre le signal du poste 2 avec le block FB ; le poste met le signal à la position d'ouverture ; le train passe sur le rail isolé voisin du poste 2 ; le relais R traversé par le courant de la batterie ouvre le dispositif d'ouverture AV ; le gardien met son signal à l'arrêt et peut bloquer le signal après que le noyau du relai est retombé ; le signal du poste 1 et le signal d'entrée de la station sont ainsi rendus libres, c'est-à-dire que les voyants blancs apparaissent. Le disque d'entrée est ouvert, le train passe sur le rail isolé voisin de ce disque ; le noyau du relais attire ; le block de secours HB et le dispositif d'ouverture AV sont rendus libres ; le signal d'entrée peut de nouveau être mis à l'arrêt et, quand l'armature du relais est retombée, bloqué avec la double touche AV,ES ; cette manœuvre fait apparaître le voyant rouge qui rend libre le signal FB et le block Z du poste 2 ; un train peut donc venir de la station voisine et le signal de sortie est immobilisé à sa position d'arrêt. Ensuite le block de service est fermé.

La sortie se produit de la façon suivante : un annonciateur demande à la station voisine de rendre libre le block ZS*t* ; au reçu de ce signal, le voyant du block devient blanc, et on met le signal de départ à la position libre ; on avertit le poste 2 avec l'annonciateur ; après la sortie du train on bloque avec la double touche ZB, ZS*t* ce qui fait apparaître les voyants rouges. Le poste 2 met son signal à la position libre et avertit le poste 1 ; le train passe sur le rail isolé ce qui attire l'armature du relais et libère le dispositif d'ouverture, le gardien met alors son signal à l'arrêt, bloque avec la double touche AV, S ce qui fait apparaître le voyant blanc sur le block ZB et le signal Z_1 permet à la station voisine de faire partir un nouveau train.

E. B.

Commutateur à distance de la E. A. G. Schuckert. Brevet allemand, nº 99 718. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVI, p. 141, 1899.

Lorsqu'il s'agit de commander à distance un interrupteur, il est utile de savoir si le résultat recherché est obtenu ; l'Elektricitaets Aktien Gesellschafft (anciennement Schuckert et Cº) a fait breveter une disposition qui résout d'une manière simple cette question sans l'intervention de plusieurs conducteurs auxiliaires.

La figure 1 représente le schéma des connexions pour un système à deux conducteurs. K est le circuit éloigné dépendant de l'interrupteur S et c'est ce dernier qui est commandé à distance par le commutateur HD qui agit sur le

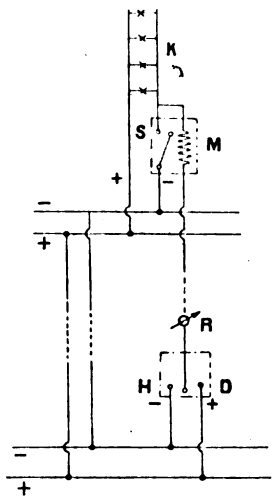


Fig. 1. — Commutateur à distance de la E. A. G. Schuckert.

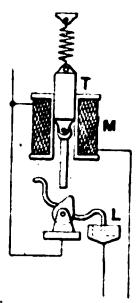


Fig. 2. Interrupteur.

circuit de l'électro M, circuit relié d'une part au circuit K et d'autre part au levier du commutateur HD.

Lorsque l'on veut fermer le circuit K, on place le levier en H, l'électro M est excité et son armature ferme l'interrupteur S. Si maintenant l'on place le commutateur en D, le levier S de l'interrupteur est déplacé par l'armature et le circuit K est ouvert. La particularité de cette disposition est dans l'interruption automatique du courant d'excitation aussitôt que le résultat cherché est atteint.

L'interrupteur du circuit K est représenté par la figure 2 ; grâce au couteau dont est muni l'axe du levier L, ce levier est changé de position à chaque impulsion de l'armature T de l'électro M et ne peut se déplacer sans cette action.

D'autre part, un indicateur de direction de courant R (fig. 1) indique si la manœuvre voulue est bien exécutée.

G. G.

Digitized by Google

APPLICATIONS THERMIQUES

Allumage électrique des becs de gaz, par **A. Berthier**, communiquée par l'auteur.

Tandis qu'en France on se préoccupe peu de l'allumage à distance des réverbères, il n'en est pas de même dans d'autres pays et notamment en Allemagne où les Sociétés de « Gasfernzundung » (allumage à distance du gaz) deviennent de plus en plus nombreuses. Les combinaisons imaginées et brevetées sont d'autant plus variées que le problème est plus complexe; toute solution doit embrasser ces deux opérations : ouverture du robinet et inflammation du gaz. L'électricité seule peut évidemment permettre d'atteindre pratiquement ce double résultat. Il existe cependant une méthode reposant sur l'emploi d'un moyen chimique déjà mis en œuvre dans certains briquets : le jet de gaz vient frapper une petite éponge de mousse de platine qui, portée à l'incandescence détermine l'inflammation soit d'une flamme auxiliaire, soit du bec lui-même. Ce système ne semble toutefois point très pratique, la mousse de platine ne conservant pas longtemps ses propriétés.

Les procédés électriques sont de diverses natures; en ne considérant que l'allumage lui-même, on peut les ranger en trois catégories : inflammation du gaz par étincelle d'induction, par spirale de platine et par petite flamme auxiliaire.

La première méthode, reposant sur l'emploi de courants induits, a l'inconvénient d'exiger une canalisation admirablement isolée, à cause de la tension très élevée de ces courants. Elle entraîne de plus, une certaine complication, résultant de ce fait que l'on doit employer simultanément ou successivement deux sortes de courants, l'un servant à actionner le mécanisme de fermeture, l'autre à déterminer l'inflammation. Dans les allumoirs domestiques, ces défauts sont moins à craindre et cependant le fonctionnement est loin d'être satisfaisant.

La seconde méthode mettant à contribution une spirale de platine semble de prime abord plus rationnelle, puisqu'elle utilise le même courant pour les deux opérations à effectuer. On doit constater cependant qu'elle a eu moins de succès encore que la précédente. La raison en est que la petite hélice se détériore très rapidement, surtout lorsqu'elle est maintenue dans la flamme du gaz. De plus, la consommation de courant est assez élevée. Enfin, les fils conducteurs doivent être très gros pour éviter l'échauffement et par suite la perte d'énergie.

Comme on le voit, considéré au simple point de vue de l'allumage, le problème est loin d'être facile à résoudre. Le procédé qui semble avoir donné les meilleurs résultats jusqu'à ce jour consiste dans l'emploi d'une petite flamme auxiliaire brûlant continuellement. La plupart des villes l'ont adopté depuis longtemps déjà pour les réverbères à becs multiples et éclairage intensif. Avec les becs Auer et les manchons si fragiles qu'ils nécessitent, on ne saurait s'en passer. On évite ainsi les explosions qui compromettent la vie du léger cylindre incandescent. Malheureusement la présence d'une flamme ne s'éteignant jamais présente certains inconvénients assez sérieux sur lesquels il n'est peut-être pas inutile d'insister. Lorsqu'il s'agit, par exemple, de l'éclairage d'espaces clos, l'obligation où l'on est de laisser le compteur et le robinet principal continuellement ouverts constitue un danger permanent. La petite flamme peut s'éteindre accidentellement et le robinet du bec demeurant ouvert, une explosion n'est pas longue à se produire. Quelques fabricants ont eu l'idée ingénieuse de placer une petite spirale de platine dans la flamme auxiliaire; ce métal emmagasinant du calorique, il s'ensuit que si, par hasard, un courant d'air éteint la petite flamme, le jet de gaz se rallume bientôt à la spirale demeurée incandescente. Quant à la consommation de gaz, elle est très faible : 50 à 80 litres par 24 heures, ce qui correspond à une dépense d'un ou deux centimes par jour. A ce point de vue, le procédé dont il vient d'être question est le plus pratique de ceux que l'on a imaginés jusqu'à maintenant. L'électricité n'intervient que pour l'ouverture et la fermeture du robinet du bec. Un assez grand nombre de dispositifs ont été essayés pour effectuer cette double opération. Les plus employés sont ceux qui mettent à contribution un électro-aimant actionnant une roue dentée. Cette roue commande elle-même le robinet qui est ouvert ou fermé selon que la dent ou l'échancrure voisine est utilisée. Cet dispositif rappelle celui de certains boutons d'éclairage : une pression ferme le circuit, une nouvelle pression l'ouvre. Il n'est pas très pratique, parce qu'il nécessite l'emploi d'un électro-aimant volumineux et puissant. Les brûleurs

Digitized by Google

qui en sont munis sont beaucoup plus longs que les autres et ne peuvent que difficilement être introduits dans les lampes ordinaires. Rappelons pour mémoire les becs Simplex, fort simples en effet, et très élégants : un tube cylindrique renfermant une tige mobile, mue par deux spires que parcourt le courant, est percé d'une ouverture livrant passage au gaz. Selon que la tige est attirée d'un côté ou de l'autre, l'orifice est obturé ou ouvert. Ce dispositif présente l'inconvénient d'exiger trois fils (pour pouvoir renverser le sens du mouvement); de plus, la fermeture n'est pas hermétique. Si la tige mobile est trop libre, elle ferme mal l'orifice; si au contraire, elle adhère trop aux parois du tube, le courant ne peut la mouvoir.

Dans un autre modèle, fort simple également, la fermeture est obtenue par un ressort dont l'extrémité libre vient s'appuyer sur l'orifice de sortie du gaz. Inutile d'ajouter que les résultats obtenus sont déplorables.

La combinaison la plus heureuse semble être la suivante : une roue dentée est disposée de telle sorte que le mouvement correspondant à l'avance d'une dent détermine l'ouverture et la fermeture du bec. Ce dispositif diffère de celui dont il a été question plus haut, en ce que c'est la roue dentée elle-même qui obstrue l'orifice. Dans les premiers appareils construits, le mécanisme était placé à l'intérieur de la conduite amenant le gaz; de plus, les deux faces de la roue dentée étaient utilisées. Les nouveaux modèles, qui semblent plus pratiques, diffèrent des anciens en ce que la face inférieure seulement de la roue dentée sert à l'obturation, un ressort assez énergique occupant la face supérieure et déterminant par sa pression un contact parfait. Tout le mécanisme est enfermé dans une boîte étanche. Il est donc à l'abri de la poussière et de l'humidité.

Le fonctionnement est analogue à celui des boutons-interrupteurs employés pour l'éclairage: une première pression détermine l'ouverture de l'orifice et par suite l'allumage ; une seconde produit la fermeture.

De ce qui précède, il résulte que le problème de l'allumage du gaz à distance est résolu d'une manière en somme assez satisfaisante par l'emploi d'une petite flamme auxiliaire brûlant nuit et jour et d'un mécanisme comportant une roue dentée mue par un électro-aimant. Il reste à envisager la question au point de vue financier. On ne peut donner des conclusions générales, les résultats n'étant pas les mêmes selon qu'il s'agit d'une installation privée ou d'une canalisation urbaine.

Dans le premier cas, ce que l'on cherche surtout, c'est la commodité; dans le second, c'est l'économie. Le consommateur de gaz qui a installé chez lui des becs Auer, par exemple, désirera pouvoir les allumer instantanément par simple pression sur un bouton. L'électricité a rendu le public très exigeant et l'on ne saurait se contenter aujourd'hui des vieilles méthodes mettant à contribution les allumettes de la régie. Dans ce cas, on donnera peut-être la préférence aux becs à spirale de platine. Les frais d'entretien sont plus élevés; mais comme la canalisation n'est pas très longue, le coût de cette partie est de peu d'importance. Pour la production du courant nécessaire, on s'adressera aux piles, aux accumulateurs ou aux dynamos. Il est bien évident que s'il ne s'agit que de quelques becs, on emploiera de simples piles Leclanché. Celles à grandes surfaces (zinc extérieur et circulaire), conviennent parfaitement. Elles peuvent donner 5 à 6 ampères en court-circuit sous 1,4 volt environ, ce qui est plus que suffisant. On admet que le mécanisme moteur de la fermeture du bec consomme quelque 0,6 watt, soit par exemple 0,3 ampère sous 2 volts. Cette énergie peut être donnée par une batterie de deux éléments Leclanché ou Lacombe à zincs cylindriques.

Le problème est plus complexe lorsque l'on a affaire à un éclairage public.

D'une part, le coût des canalisations intervient dans le calcul comme un facteur très important. Sans doute, les tubes de plomb, fer, fonte...qui amènent le gaz peuvent être utilisés comme fil de retour, mais le câble lui-même, qu'il soit aérien ou souterrain, nécessite pour son établissement, des travaux assez onéreux. Il sera donc nécessaire d'établir un devis permettant de comparer les frais résultant du système actuel d'allumage avec ceux que l'installation des fils et appareils pour l'allumage à distance ne manquerait pas d'occasionner. On pourra faire entrer en ligne de compte le bénéfice résultant de ce que tous les becs peuvent être allumés ou éteints simultanément. Il n'est plus alors nécessaire de commencer l'allumage avant la venue de l'obscurité et de le terminer après l'arrivée

Digitized by Google

du jour. On économise donc, comme dépense de gaz, la consommation moyenne des becs pendant la durée de l'allumage ou de l'extinction. Il n'est question ici évidemment que du cas le plus simple : tout le réseau considéré doit être allumé et éteint aux mêmes heures. Dans les autres cas, c'est-à-dire lorsque certaines parties du réseau doivent être éclairées plus longtemps que d'autres, la complication est telle que le système ordinaire d'allumage paraît préférable. On a cependant combiné des appareils qui permettent d'obtenir les résultats les plus variés avec une simple canalisation à deux fils. La roue dentée dont il a été question plus haut est percée d'un nombre variable de trous suivant le feeder dans lequel elle se trouve. Supposons, par exemple, que l'on intercale dans le même circuit deux appareils différents; dans l'un à chaque trou correspond une partie opaque formant obturateur de la conduite; dans l'autre, trois trous se suivent. Qu'arrivera-t-il ? A la première émission de courant, les deux lampes s'allumeront, puisque les deux orifices livreront passage au gaz. A la seconde, la première lampe demeurera allumée puisque l'orifice n° 2 sera en regard du jet de gaz; mais la seconde lampe s'éteindra. Une troisième pression sur le bouton interrupteur ramènera la lumière des deux côtés; enfin une quatrième éteindra les deux becs. Le procédé semble aussi simple qu'efficace.

A. Berthier.

MESURES

Sur l'étalonnage des compteurs électriques, par **J. Sahulka.** *Zeitschrift für Elecktrotechnik*, t. XVII, p. 481, 505, 515, 24 sept., 1er et 8 oct. 1899.

I. Généralités sur les compteurs. — L'étalonnage des compteurs électriques ayant été rendu obligatoire en Autriche-Hongrie, par décret du 3 mai 1894, la commission d'étalonnage nommée à cet effet entreprit une série de mesures dans des laboratoires. La Zeitschrift für Elektrotechnik nous donne, à ce sujet, les renseignements et considérations qui suivent.

Un compteur d'électricité peut subir deux sortes d'altérations : celles qui sont faites avec intention, et celles qui sont accidentelles. Ces dernières sont de divers ordres : dans les compteurs renfermant des aimants permanents, le magnétisme peut varier, dans les compteurs à moteurs le collecteur peut s'oxyder ou se recouvrir de poussière, causes qui tendent à interrompre le circuit de l'induit; si les organes sont fixés sur du bois, celui-ci peut jouer et modifier la constante; si le compteur comporte un électro-aimant, la perméabilité du fer peut varier. En Autriche l'étalonnage d'un compteur est obligatoire tous les deux ans. Il faut donc que le laboratoire d'étalonnage puisse être certain que l'on n'a fait subir à l'instrument aucune altération volontaire destinée à modifier la constante. Les compteurs récents sont presque tous construits de façon à pouvoir être complètement enfermés. Mais cette condition ne peut pas toujours être remplie. S'il y a un collecteur on doit pouvoir le nettoyer de temps en temps. Or l'expérience a montré que l'on diminue les indications d'un compteur en appuyant fortement les balais sur le collecteur, mais que les indications sont indépendantes de la pression si celle-ci est moyenne. La commission d'étalonnage a donc décidé que les collecteurs pourraient être disposés dans un espace spécial, accessible à la Compagnie seule, puisque celle-ci ne peut modifier les indications qu'en les diminuant. Toutes les autres parties du compteur doivent être strictement enfermées.

Une autre condition que doivent remplir les compteurs c'est de ne jamais marcher à vide. Les efforts des industriels se sont portés sur ce point dans les dernières années. Dans le compteur Aron on a introduit un commutateur automatique qui a pour effet, s'il s'est produit une différence de marche entre les deux pendules à vide, de produire une différence inverse pendant le même temps. La maison Ganz et Cie a modifié le compteur de Blathy en perçant en un point du disque d'aluminium un trou de 1 cm de diamètre. Quand le courant principal est interrompu, le disque prend une position d'équilibre déterminée dans laquelle le trou se trouve entre les pôles de l'aimant. Schuckert a adapté au plateau tournant de son compteur une petite tige qui vient frapper à chaque tour un léger ressort et qui bute contre ce ressort, si le plateau a tendance à tourner à vide.

Les indications des compteurs dépendent de la température, de la tension et de la fréquence; on doit donc les étalonner dans les conditions mêmes de leur emploi. Les fabricants se sont efforcés de rendre ces variations négligeables, car il serait trop difficile d'en tenir compte.

Digitized by Google

Ainsi dans le compteur Blathy on a modifié l'enroulement de l'électro-aimant en dérivation de façon à rendre les indications à peu près invariables quand la tension et la fréquence varient. Dans les compteurs à moteurs, tel que celui de Thomson on rend les indications indépendantes de la température en faisant le disque tournant du même métal que le circuit shunt. On devrait poser en principe que, dans tout nouveau compteur, la variation de la constante soit inférieure à 0,15 p. 100 pour une variation de température de 1 degré, ou pour une variation de tension ou de fréquence de 1 p. 100.

La constante de la plupart des compteurs dépend de la charge ; il n'y a que peu d'exceptions, entre autres le compteur Aron.

Il est donc nécessaire d'étalonner un compteur à diverses charges. En Autriche, on les étalonne pour l'intensité maxima et pour des intensités de 50 p. 100 et de 10 p. 100 de la valeur maxima ; enfin on s'assure qu'ils donnent des indications pour une intensité de 2 p. 100. Chacune des trois valeurs de la constante ainsi obtenue ne doit pas différer de la moyenne de plus de 4 p. 100 ; la valeur moyenne est considérée comme la constante de l'instrument. Dans les compteurs pour distributions à plusieurs fils ou pour courants polyphasés, il faut encore s'assurer si la constante reste invariable quand les ponts ou les phases sont inégalement chargés. Les valeurs obtenues pour la constante avec charges inégales ne doivent pas différer de plus de 4 p. 100 de la constante avec charges égales. Il est d'ailleurs très facile de s'assurer si les différentes branches du compteur sont bien réglées : il suffit de mettre en opposition les bobines traversées par le courant principal et de les faire traverser par les courants maxima. Si le compteur n'indique rien, le réglage est bien fait et il suffit d'étalonner en chargeant une seule branche.

Les compteurs se distinguent en instruments transportables, c'est-à-dire pouvant sortir définitivement clos du laboratoire d'étalonnage et en instruments non transportables qui ne peuvent être étalonnés que dans l'endroit même où ils doivent être utilisés. Dans ce dernier cas, on devra se munir d'un certain nombre de compteurs de contrôle permettant de procéder à l'étalonnage sur les lieux mêmes. Les compteurs non transportables sont d'ailleurs tous de fabrication ancienne et tendent à être abandonnés.

Pour que l'étalonnage des compteurs ne soit par trop dispendieux, il faut qu'on puisse opérer sur un grand nombre d'instruments à la fois. Malheureusement cela est impossible, car les compteurs sont différents à bien des points de vue. D'abord chaque mode de distribution comporte des types différents (continu à deux, trois et cinq fils, alternatif à deux et trois fils, courants polyphasés). En outre les tensions et les fréquences varient d'une station centrale à l'autre. Enfin l'intensité maxima pour laquelle le compteur est déclaré est très variable : 3, 5, 7,5, 10, 12, 15, etc., ampères. Le Congrès des électriciens de 1899 tenu à Vienne, a émis un vœu pour la diminution du nombre de ces valeurs maxima. Il vaudrait bien mieux adopter l'échelle 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1 000 ampères. Enfin à toutes ces causes de complications il faut encore ajouter la suivante : dans certains instruments comme le compteur Aron à commutation, le temps de l'essai doit être un multiple de la durée d'une commutation. Le temps d'essai ne sera donc pas toujours le même pour d'autres systèmes car pendant l'étalonnage l'aiguille du dernier cadran doit faire un ou plusieurs tours entiers, afin de diminuer l'erreur relative due à une légère excentricité de l'aiguille ou à la persistance de la course quand on a coupé le courant. Si dans tous les systèmes une division du dernier cadran correspondait toujours à un hectowatt-heure où à une fraction décimale de l'hectowatt-heure, les compteurs pourraient de ce chef être étalonnés simultanément.

L'étalonnage des compteurs dans une grande ville doit se faire dans un seul et même laboratoire municipal ; cette condition est indispensable pour opérer dans de bonnes conditions, sans perte de temps et avec précision. En outre les montages des instruments pour l'étalonnage devront pouvoir s'effectuer facilement. Les bornes des circuits à fil fin de tous les compteurs vérifiés simultanément sont connectées à deux mêmes bornes et tous les circuits à gros fil sont parcourus par le même courant. Pour la facilité des connexions, les extrémités du fil fin sont en général reliées à deux bornes situées à l'extérieur de la cage de l'appareil ; ces bornes sont recouvertes d'un chapeau cacheté par les soins de la station centrale. Enfin il est indispensable de munir la cage d'une vitre permettant d'exa-

Digitized by Google

miner non seulement les cadrans mais encore toutes les parties mobiles. On peut ainsi voir quelle est la plus petite charge pour laquelle le compteur donne des indications.

En outre chaque étalonnage ne doit pas durer trop longtemps. Cette condition sera remplie si l'unité du dernier cadran est aussi petite que possible : toutefois aucune des transmissions ne doit donner lieu à une augmentation de vitesse. La plupart des compteurs sont destinés aux faibles puissances et les étalonnages aux petites charges seraient très longs si on ne pouvait pas observer d'autres mouvements que ceux de la dernière aiguille. Supposons par exemple un compteur de 110 volts, 5 ampères ; si l'unité du dernier cadran est l'hectowatt-heure et si on se contente d'étalonner pendant un tour complet de la dernière aiguille, l'opération durera 1 h. 30 pour la pleine charge, 3 h. 40 pour la mi-charge, 18 h. 20 pour le dixième de charge, soit en tout 24 heures. La meilleure solution serait en ce cas d'avoir un cadran dont les unités seraient des fractions de l'hectowatt-heure. Sinon on observera une partie mobile du compteur et l'on déterminera le rapport du nombre de tours de cette partie et de la dernière aiguille. Mais cette façon de procéder revient à étalonner séparément chaque compteur, ce qui est toujours long et pénible.

II. Installation d'un laboratoire d'étalonnage. — Pour l'étalonnage des compteurs à courant continu, il est tout indiqué de se servir d'une batterie d'accumulateurs chargée soit par le courant d'un secteur soit par une dynamo spéciale. Mais pour les compteurs à courants alternatifs on est obligé de disposer d'une tension et d'une fréquence variables : le courant fourni par un secteur sera donc insuffisant. Le courant alternatif sera donc produit par un alternateur actionné par un moteur continu excité en dérivation. En agissant sur l'excitation de l'alternateur, on obtient la tension voulue ; la fréquence s'obtient en agissant sur l'excitation du moteur. Comme les fréquences usuelles ne varient guère que de 40 à 50, le réglage sera très simple.

Supposons, à titre d'exemple, que l'on ait à étalonner annuellement 30 000 compteurs à courant continu, 10 000 à courant monophasé, et 10 000 à courants polyphasés. Les compteurs continus et monophasés seront étalonnés jusqu'à une intensité de 1 000 ampères et pour toutes dimensions, les compteurs polyphasés pour une intensité de quelques centaines d'ampères sur chaque phase. On adaptera comme génératrices deux dynamos de 110 volts, 120 ampères, accouplées chacune à une machine à vapeur de 20 chevaux. On utilisera comme réserve, le courant d'un secteur à 110 volts. Les courants alternatifs seront produits par deux alternateurs de 15 chevaux, l'un monophasé, l'autre triphasé, actionnés par un moteur shunt. Ces alternateurs seront disposés dans une salle spéciale de telle sorte que la salle des machines ne comprenne que les génératrices continues et leurs moteurs, ainsi qu'un tableau de distribution. Sur ce tableau on dispose deux paires de rails, chaque paire étant reliée aux bornes d'une des génératrices. Entre les rails se trouvent des commutateurs bipolaires permettant d'envoyer le courant de l'une des dynamos dans les différentes lignes. Deux bornes spéciales permettront d'utiliser le courant du moteur en cas de besoin.

A. *Installation d'un laboratoire d'étalonnage pour compteurs à courant continu.* — Nous avons vu que les bobines à gros fil des compteurs sont disposées en série et alimentées par le courant d'une batterie d'accumulateurs à faible tension ; les bobines shunt sont connectées aux bornes d'une autre batterie donnant la tension voulue. Pour les compteurs de distributions à plusieurs fils, on disposera en série toutes les bobines traversées par le courant d'un même pont ; on pourra ainsi facilement contrôler la marche du compteur dans le cas de charges inégales des ponts. Comme un laboratoire peut étalonner environ 20 compteurs par jour, on aura besoin de 5 laboratoires dans l'hypothèse précédente.

Le courant intense nécessité par les bobines à gros fil pourrait être fourni par une batterie unique de dix éléments donnant 1 000 ampères à la décharge. Des bornes de cette batterie partiraient deux gros conducteurs qui se diviseraient en plusieurs conducteurs de plus faible section pour alimenter chacun des laboratoires.

Comme on se sert le plus souvent de courants au plus égaux à 50 ampères, les variations de tension dues aux pertes en ligne seraient faibles. Pour la charge on emploierait une génératrice de 30 volts.

Digitized by Google

Ce dispositif recommandable par sa simplicité, son bon marché et le peu d'emplacement qu'il nécessite, offre pourtant certains inconvénients. D'abord la tension étant invariable le nombre de compteurs que l'on peut étalonner simultanément est strictement déterminé; en outre, la batterie ne peut servir à aucun autre usage et l'on perd le bénéfice des deux génératrices. On a donc avantage à employer une batterie d'un plus grand nombre d'éléments, chargés directement par les deux génératrices à 110 volts et associés différemment suivant l'intensité requise. On disposera d'une batterie de ce genre par laboratoire : en les couplant

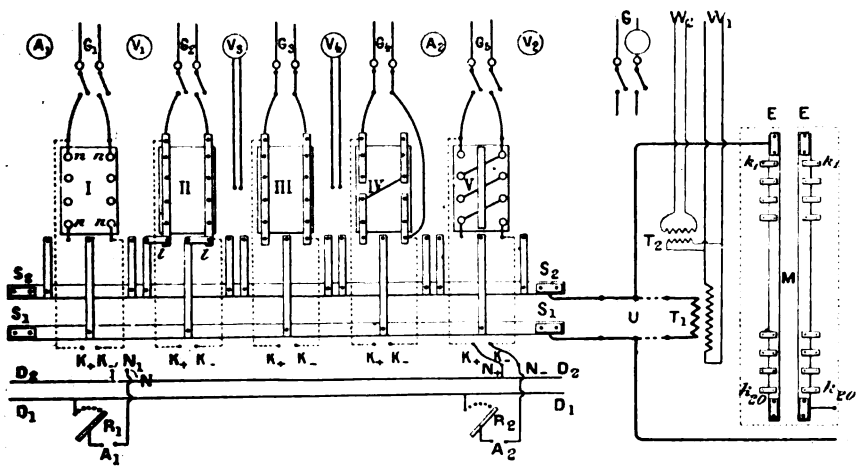


Fig. 1.

toutes en parallèle, on pourra obtenir des courants allant jusqu'à 1000 ampères.

Pour les bobines à fil fin on se servira d'une batterie commune à tous les laboratoires, car les courants sont si faibles qu'on peut négliger les variations des tensions dues aux pertes en lignes. Des connexions partant de différents points de cette batterie permettent d'obtenir la tension voulue.

La figure 1 représente les connexions de la batterie à courants intenses. Cette batterie se compose de 5 batteries de 40 éléments donnant chacun 50 ampères au maximum avec une capacité de 150 ampères-heure.

Chaque batterie est subdivisée en 4 groupes de 10 éléments, et de chaque groupe partent des conducteurs qui se rendent à la table de couplage. A chaque batterie correspond sur cette table un des carrés I, II, III, IV, V. Ces carrés sont des plaques de marbre portant des godets de mercure : deux godets se faisant face correspondent toujours au même groupe. Les deux premiers et les deux derniers godets de chaque groupe sont reliés à des bornes situées dans le prolongement de chaque série de godets. Les carrés II et III de la figure I représentent la mise en parallèle des groupes de chaque batterie : à cet effet, on se sert de deux barres de cuivre auxquelles sont fixées des tiges de fer plongeant dans le mercure; ces barres sont vissées aux bornes dont il vient d'être question. Chaque batterie donne avec le couplage en parallèle, 200 ampères pour 20 volts.

Si l'on a un plus grand nombre de compteurs à étalonner et si la tension de 20 volts est alors trop faible, on peut, comme sur le carré II, partager la batterie en deux moitiés couplées en série.

Enfin on peut, comme dans le carré V, réunir les 4 groupes en tension, ce qui donne 50 ampères sous 80 volts.

La table de couplage est adossée contre un mur sur lequel on fixe les barres reliant les batteries à leurs laboratoires respectifs, par l'intermédiaire d'interrupteurs bipolaires et de coupe-circuits. Si l'une des batteries n'était pas disponible, on pourrait en partager une autre en deux (comme la batterie II, en enlevant la connexion du milieu) et envoyer le courant de chaque moitié dans un laboratoire séparé.

Les compteurs pour courants très intenses seront étalonnés à côté de la table de couplage. A cet effet, deux rails S^1, S^2, servent à recueillir le courant de toutes les batteries couplées en parallèle de façon à obtenir 1000 ampères. Les barrettes servent à faire les connexions et à intervertir au besoin les polarités des deux rails S_1, S_2. Les conducteurs D_1 et D_2 calculés pour 120 ampères, servent à charger les batteries : les extrémités de celles-ci sont reliées à des bornes K + K — que l'on relie aux bornes N + N — au moyen de fils souples; l'un de ces deux fils passe par un ampèremètre A_1 et un

Digitized by Google

rhéostat de réglage R_1 : les voltmètres V_1, V_2 donnent la tension de charge. Les deux voltmètres V_3 et V_4 servent pour le contrôle des batteries chargées au moyen des conducteurs volants : l'échelle de V_3 correspond à la tension d'un groupe, celle de V_4 à la tension d'une batterie.

La quantité d'électricité nécessitée par l'étalonnage de 20 compteurs moyens n'excède pas 50 ampères-heure, soit 2,5 ampères-heure pour un compteur. Comme la batterie est couplée en parallèle, on ne dépense en fait que 0,6 ampère-heure sous la tension de la batterie, et 0,8 ampère-heure en tenant compte des pertes à la charge et à la décharge. L'énergie nécessitée par l'étalonnage d'un instrument ne coûte donc que 7 à 8 centimes. On peut également admettre que, pour l'étalonnage des compteurs de 1 000 ampères, on dépense 3 000 ampères-heure. Comme on a alors 20 groupes d'éléments à raison de 150 ampères-heure par groupe, on voit que toute l'énergie de la batterie est utilisée.

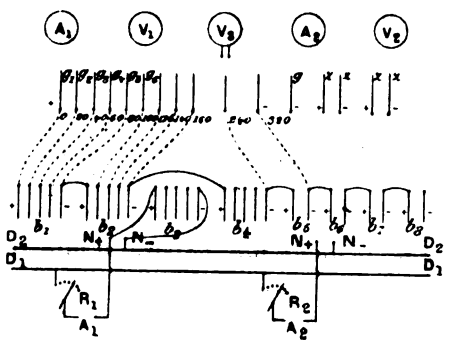


Fig. 2.

La figure 2 représente les connexions des batteries destinées à donner le courant au fil fin des compteurs. Chaque compteur consomme environ 0,03 A. Pour 200 instruments étalonnés simultanément cela fait 6 A. Comme la plupart des compteurs sont pour des tensions de 100 à 300 V, il suffit d'avoir quelques batteries donnant 6 A : les autres seront formées d'éléments plus petits. Chaque batterie n'aura que 40 éléments pour qu'on puisse la charger sous 110 volts.

Il faudra donc 8 batteries pour 600 V. Quatre batteries se composeront d'éléments d'une capacité de 30 ampères-hsure sous un régime de décharge de 10 ampères, les autres éléments auront une capacité moitié moindre. Des 4 premières batteries partiront des conducteurs tous les 10 éléments pour se rendre au tableau de couplage ($b_1 b_2 b_3 b_4$), pour les 4 dernières les conducteurs ne partiront que du pôle de chaque batterie ($b_5 b_6 b_7 b_8$). La charge et le contrôle des batteries se fait par le même dispositif que ci-dessus. Un certain nombre de conducteurs g partent du tableau pour se rendre aux laboratoires. On a ainsi à sa disposition toutes les tensions de 20 en 20 volts. Si l'on veut par exemple avoir 260 volts on reliera la bobine aux bornes 60 et 320. Le conducteur g sert pour les tensions supérieures à 320 volts. Les deux circuits z servent à l'étalonnage des compteurs de 1 000 A. On peut aussi étalonner des voltmètres jusqu'à 1 000 volts en mettant en série les batteries de grands et de petits éléments.

Les laboratoires doivent être autant que possible les uns à la suite des autres. Pour éviter toute influence mutuelle on ne mettra pas de compteur des deux côtés d'une même muraille et la distance de 2 compteurs voisins sera au moins de 70 cm. Chaque salle sera pourvue d'un interrupteur disposé sur les conducteurs G_1 (fig. 1) et d'un rhéostat de réglage permettant de régler l'intensité à 0,1 ampère près ; dans chaque salle il y aura également les douze bornes g avec des coupe-circuits de 2 ampères. Le long de la muraille on disposera deux conducteurs auxquels seront fixés de nombreux fils de cuivre, permettant de mettre les bobines à fil fin commodément en dérivation. Ces deux conducteurs seront reliés au moyen d'un commutateur avec les deux bornes donnant la tension voulue. Comme on n'a à sa disposition que des tensions de 20 en 20 volts, il pourra y avoir une différence de 10 volts entre la tension réelle et la tension ordinaire du compteur. On réglera donc la tension aux bornes de la bobine à fil fin en mettant une résistance en série. Mais ce dispositif ne convient pas aux compteurs qui ont périodiquement besoin d'un courant plus intense dans le circuit shunt pour produire un certain mouvement. Il arrive souvent que ces augmentations de courants coïncident pour plusieurs instruments et donnent alors lieu à des variations de tension rendant la lecture du voltmètre impossible. Dans ce cas on remplacera la résistance de réglage par quelques petits accumulateurs. Enfin comme on a souvent à étalonner des

Digitized by Google

compteurs d'égale intensité mais de tensions différentes, il est bon de disposer le long de la muraille deux bornes de conducteurs que l'on pourra relier soit à des bornes différentes, soit aux mêmes bornes.

L'étalonnage des compteurs de 100 à 1 000 ampères se fait dans la chambre de couplage. La régulation se fait par l'intermédiaire d'un rhéostat de 1 000 ampères sous 20 volts représenté par M (fig. 1). Ce rhéostat est autant que possible dépourvu de self-induction pour servir aussi en alternatif. Il se compose de 20 résistances en dérivation formées de rubans de nickeline. On peut ainsi régler le courant à 50 ampères près; on achève le réglage au moyen d'un second rhéostat de 50 ampères en dérivation sur le premier. Le commutateur U sert à envoyer dans les instruments soit le courant venant des rails S_1, S_2, soit le courant fourni par le secondaire d'un transformateur T_1 qui sert couramment avec le transformateur T_2 et les conducteurs H_1, H_2, à étalonner les appareils pour courants alternatifs continus.

Comme instruments de mesure on emploie des wattmètres de précision. Il faudra avoir bien soin de disposer l'un à côté de l'autre les conducteurs + et — des courants intenses pour éviter tout effet électrodynamique. On aura soin aussi de répéter chaque lecture en changeant le sens de la déviation. La tension sera réglée au moyen d'un voltmètre.

B. *Installation d'un laboratoire d'étalonnage pour compteurs à courants alternatifs.* — Dans l'étalonnage des compteurs pour courants alternatifs, on utilise également deux sources distinctes d'électricité, l'une pour le gros fil, l'autre pour le fil fin. Les deux forces électromotrices correspondantes doivent être de même période et autant que possible de même phase. On arrive à ce résultat en prenant un alternateur dont l'induit porte deux enroulements, l'un à gros fil, l'autre à fil fin. On peut encore employer un alternateur ordinaire fournissant l'une des tensions directement et l'autre au moyen d'un transformateur.

Dans les laboratoires de la Commission d'étalonnage de Vienne on a employé la première méthode. L'alternateur à 8 pôles construit par Siemens et Halske contenait sur chaque noyau un premier enroulement induit à gros fil donnant 200 ampères sous 16 volts par pôle et deux enroulements à fil fin de 16 volts chacun. Pour l'étalonnage des compteurs au-dessous de 200 ampères les bobines à gros fil sont réunies en série et la tension réglée entre 100 et 105 volts. On peut également mettre ces bobines en parallèle ce qui donne 1600 ampères sous 16 volts. Les bobines à fil fin sont toutes en série et à chaque portion entre deux bobines, on peut fixer un conducteur ce qui donne toutes les tensions jusqu'à 256 volts, le réglage est obtenu en agissant sur l'excitation. La différence de phase entre les armatures est faible. Si on étalonne des compteurs de 100 à 105 volts et de moins de 200 ampères on peut connecter les bobines à fil fin des compteurs aux bornes du gros fil de l'alternateur sans utiliser le fil fin de ce dernier.

La seconde méthode basée sur l'emploi des tranformateurs est cependant préférable, car elle permet d'arriver aux hautes tensions et aux hautes intensités d'une façon bien plus commode que la précédente.

Si le même laboratoire est déjà fourni d'une installation pour courants continus, on se servira d'une commutatrice de 15 chevaux ou même d'un moteur continu et d'un alternateur. La tension de ce dernier ne sera pas trop basse ; on a en effet un grand nombre de compteurs à étalonner simultanément ce qui produirait un décalage sensible : pour le diminuer, il faut pouvoir mettre en série un rhéostat de lampes, ce qui exige une tension suffisante.

Si l'on compte sur 10 000 compteurs à étalonner par an, il faudra deux laboratoires. De l'alternateur part une ligne de 100 ampères se

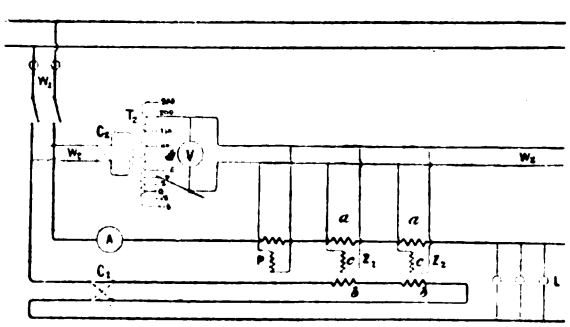


Fig. 3.

rendant dans les laboratoires, où elle pénètre par un interrupteur W_1 (fig. 3). Dans la salle se trouvent deux circuits ; le circuit à gros fil contient un ampèremètre A, la bobine à gros fil du

Digitized by Google

wattmètre P, les bobines à gros fil des compteurs Z_1, Z_2... et un rhéostat de lampes L. Les bobines à fil fin des wattmètres et des compteurs sont connectées au circuit W_2. Si la tension est d'environ 100 volts, ce circuit est relié directement à l'interrupteur W_1. Si la tension est plus élevée on emploie un transformateur T_2 à secondaire réglable. Ce transformateur sera de faible puissance, mais le fil de cuivre ne sera pas trop fin pour ne pas introduire un décalage trop grand. Blathy a même proposé d'employer des auto-transformateurs à un seul enroulement, dont une partie serait réservée aux bornes W_1, tandis que des bornes déterminées donneraient 150, 200, 300,.. volts.

L'ouverture de l'interrupteur W_1 dans un des laboratoires apporterait une perturbation aux appareils de l'autre. D'autre part, il y a certains compteurs, comme celui de Blathy, où il ne suffit pas de rompre le circuit à fil fin pour arrêter le mouvement, si le courant est assez intense. Pour éviter cet inconvénient sans avoir à ouvrir l'interrupteur, on donnera aux compteurs deux bobines à gros fil *a* et *b*. Toutes les bobines *b* sont réunies en série. Un commutateur C_1 permet de mettre les deux bobines d'un même compteur en opposition, ce qui arrête le mouvement. L'étalonnage des compteurs de 100 à 1 000 ampères se fait au moyen du dispositif de la figure 1. L'interrupteur W_1 commande une ligne de 100 ampères sous 100 volts. Le transformateur T_1 réduit la tension à 10 volts, ce qui donne 1 000 ampères. Si la tension est de 100 volts, on connecte directement le fil fin à W_1 ; si elle est supérieure, un transformateur W_2 donne la tension voulue.

Il est nécessaire aussi d'étudier les compteurs, quand le courant est décalé sur la force électromotrice ; il suffit d'ailleurs de faire cette étude sur un seul compteur de chaque système. Le décalage s'obtient en mettant une bobine dans le circuit du gros fil. Il est plus commode de mettre dans le circuit à fil fin un condensateur, une bobine de self, ou même une résistance non inductive si l'inductance du circuit shunt est élevée.

III. Compteurs a courants polyphasés. — Le courant est produit comme pour les compteurs monophasés, mais on aura soin de ne pas réunir les trois circuits de l'alternateur et d'amener le courant aux laboratoires au moyen de trois circuits distincts, ce qui permettra de faire le montage voulu. Des fiches seront placées sur les 6 bornes pour permettre de les distinguer. On pourra faire indifféremment dans chaque laboratoire le montage en triangle ou en étoile, mais si l'on emploie simultanément les deux montages, on n'aurait que 60 volts pour l'étoile, alors qu'on aurait 100 volts pour le triangle. Pour l'étalonnage des compteurs à hautes intensités, il faut trois transformateurs et trois résistances de réglage.

Pour l'étalonnage des compteurs diphasés, on peut également se servir de l'alternateur triphasé, en mettant deux enroulements en opposition, et l'on obtient ainsi une force électromotrice en quadrature avec celle qui est produite par le troisième enroulement; les deux tensions sont dans le rapport de 1 à $\sqrt{3}$.

Comme les compteurs ont toujours une certaine self-induction, le décalage entre le courant et la force électromotrice pourrait ne plus devenir négligeable. Comme dans les deux circuits, les tensions sont différentes, par exemple 100 et 173 volts, le décalage pourrait être aussi différent, et par suite la différence de phase ne serait pas exactement de 90°. Il n'y a pas d'autre remède à cela que de prendre une tension suffisamment haute pour pouvoir diminuer le décalage avec un rhéostat non inductif.

Il faut d'ailleurs remarquer que dans la plupart des installations diphasées les compteurs sont en général doubles : il y a un compteur sur chaque circuit et les deux appareils agissent sur un cadran commun. Dans ce cas, l'erreur que nous venons de signaler n'a plus aucune influence : chaque compteur se comporte comme s'il était seul et enregistre l'énergie dépensée dans son circuit. E. B.

Bornes May pour la vérification des compteurs. *Die Elektrizität*, t. VIII, p. 509, 28 octobre 1899. — O. May, Francfort-sur-le-Mein.

La vérification des compteurs soit après leur montage soit pendant leur utilisation est une opération qui demande un certain temps par suite du branchement des appareils de contrôle; en outre, l'ébranlement communiqué à l'appareil par la liaison des fils, diminue la valeur du réglage. D'ailleurs pour la vérification des installations d'éclairage ou de force motrice, il est nécessaire de faire marcher les appareils d'utilisation ce qui cause une consommation inutile du courant.

Digitized by Google

Pour éviter ces inconvénients le Dr O. May a proposé l'emploi de bornes spéciales reliées d'une manière constante au compteur et sur lesquelles on peut brancher les appareils de contrôle sans toucher au compteur et sans interrompre le fonctionnement des appareils, ce qui permet de faire la vérification aux heures d'utilisation sans dépense inutile de courant.

La figure 1 représente le schéma des connexions pour une distribution à deux fils, et la figure 2 pour une distribution à trois fils. L'un des conducteurs principaux est coupé et ses deux extrémités reliées aux pièces de contact a_1 et a_2, réunies par un pont intermédiaire; ces

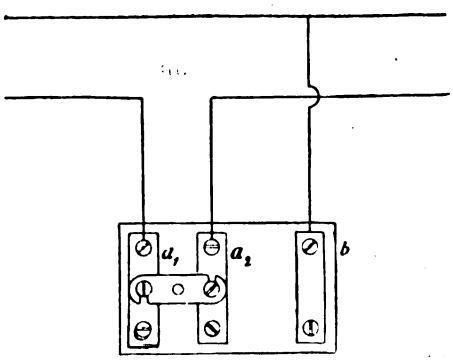


Fig. 1.

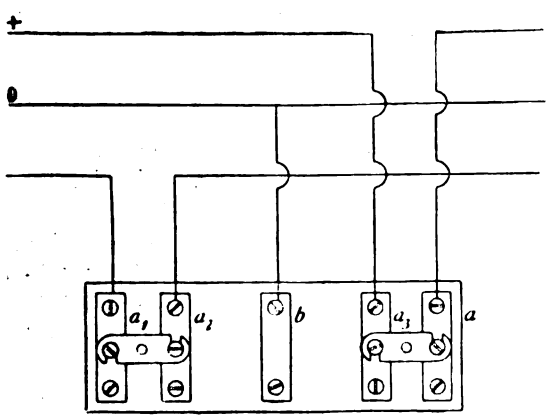


Fig. 2.

pièces portent à leur partie inférieure des vis auxquelles on vient relier les fils de l'ampèremètre ou de la bobine à gros fil du wattmètre de contrôle; une fois ces liaisons établies il suffit de desserrer les vis du pont et de le faire tourner pour interrompre la liaison des pièces a et faire passer le courant dans l'appareil de mesure. Une troisième pièce de contact b est reliée à l'autre conducteur principal; en branchant sur cette pièce et sur l'une des pièces a, le voltmètre ou la bobine à fil fin du wattmètre, on peut vérifier le compteur sans toucher à celui-ci et sans interrompre le fonctionnement des appareils en service.

Ces bornes de contact peuvent être fixées sur la planche même du compteur, ou sur une pièce indépendante, elles sont recouvertes par une boîte dont la fermeture est contrôlée au moyen de plombs de sûreté.

La disposition May présente donc les avantages suivants :

Elle évite toute modification dans le service en vue de la vérification du compteur et cette vérification peut se faire en un temps bien inférieur à celui qui est indispensable avec les dispositifs actuels. G. G.

Appareil pour mesurer les isolements en marche des installations en courant alternatif, par le Dr **G. Benischke.** *Die Elektrizität*, t. VIII, p. 485, 14 octobre 1899. Conférence faite à l' « Elektrotechnisches-Verein » de Berlin.

La mesure de l'isolement en marche se fait très simplement dans les installations en courant continu : il suffit de se servir d'un voltmètre sensible. Le champ créé par un aimant permanent est suffisamment intense pour que la bobine mobile ne nécessite qu'un petit nombre d'ampères-tours. Mais la même sensibilité est difficile à obtenir en courants alternatifs. Wilkens a résolu la question en se servant d'un électrodynamomètre dont les bobines fixes et mobiles sont en série avec une résistance. On obtient ainsi la même sensibilité qu'en continu; mais en pratique, la résistance de protection est très volumineuse et consomme beaucoup d'énergie. L'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft a construit un appareil basé sur le même principe, mais dont la bobine fixe est excitée d'une façon particulière.

L'enroulement primaire A (fig. 1) d'un petit transformateur est relié aux bornes du réseau. Il y a deux secondaires : l'un B est en série avec la bobine fixe de l'électrodynamomètre; l'autre C, en série avec la bobine mobile, forme un circuit dont les deux bornes sont reliées l'une à la *terre* et l'autre à l'*installation* dont on mesure l'isolement. On voit que la bobine fixe est traversée par un courant d'intensité invariable

Digitized by Google

tandis que le courant dans la bobine mobile dépend de la résistance d'isolement que l'on mesure. La déviation de l'aiguille solidaire de la bobine mobile est lue sur un cadran divisé en ohms. On peut ainsi, grâce au transformateur, obtenir facilement le nombre d'ampères-tours voulu dans la bobine fixe.

Les enroulements A et C ont le même nombre de spires. On a donc entre les bornes : *Terre* et *Installation* la même différence de potentiel que sur le réseau. Mais les indications de l'échelle ne sont exactes que pour une tension déterminée. Pour vérifier que le réseau est effectivement à cette tension, il est inutile de se servir d'un voltmètre. Il suffit de réunir par un conducteur les deux bornes *terre* et *installation*. L'instrument fonctionne alors comme voltmètre et une seconde échelle graduée en volts indique la tension. Dans le type pour 120 volts une déviation de l'aiguille de 1 mm correspond à un mégohm ; 3 mm à un demi-mégohm.

Cet instrument offre en outre un sérieux avantage. Soit à mesurer l'isolement d'une installation qui n'a jamais encore fonctionné et supposons qu'il

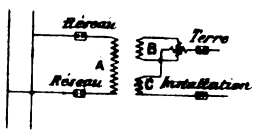


Fig. 1.

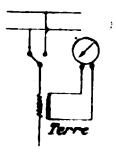


Fig. 2.

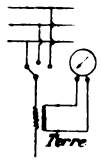


Fig. 3.

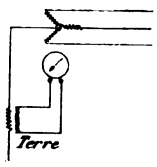


Fig. 4.

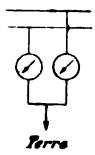


Fig. 5.

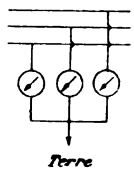


Fig. 6.

y ait quelque part un grave défaut d'isolement. Si on se servait d'un voltmètre, on serait obligé de relier d'abord l'installation au réseau et on pourrait produire un court-circuit si par hasard il y avait une terre sur l'autre pôle. Dans l'appareil de Wilkens on court le même danger à moins de mettre un pôle du réseau à la terre, mais comme on ne sait pas si l'autre pôle n'a pas une terre, on peut aussi produire un court-circuit. Dans l'instrument que nous décrivons, l'installation n'étant pas reliée au réseau et celui-ci n'ayant pas de pôle à la terre, on n'a rien à craindre.

Pour mesurer l'isolement de l'ensemble d'un réseau de distribution, on peut se servir d'un voltmètre ordinaire fixé au tableau de distribution : la résistance d'isolement à mesurer est assez faible et il suffit d'ailleurs que l'appareil signale les contacts à la terre. Pour les hautes tensions on emploiera le voltmètre avec un transformateur ; un commutateur permet de relier successivement le primaire aux deux pôles (fig. 2) ou aux trois fils de ligne dans le cas de courants polyphasés (fig. 3), mais dans ce dernier cas la mesure d'une résistance d'isolement demande deux lectures. S'il y a un point neutre on intercalera le primaire entre ce point et la terre (fig. 4), mais on ne peut mesurer ainsi que l'isolement de l'ensemble des trois lignes.

Quand on intercale le primaire d'un transformateur entre un point du réseau et la terre, on peut établir des perturbations dans les fils téléphoniques. En outre si les canalisations souterraines sont importantes, les effets de capacité produisent dans le transformateur un courant de l'ordre de ceux qui correspondraient à de graves défauts d'isolement. Dans ce cas on se sert de voltmètres statiques (fig. 5 et 6). Si l'isolement est bon, chaque voltmètre indique en monophasé la moitié de la tension du réseau, en triphasé la tension par phase. Mais si l'un des conducteurs a une terre, le voltmètre correspondant ayant ses deux pôles à la terre tombe à zéro tandis que l'autre indique la tension totale en monophasé, et la tension composée en triphasé.

Les voltmètres statiques ayant un pôle à la terre et étant dépourvues de self-induction sont très exposés aux décharges atmosphériques. En outre on ne peut pas les graduer empiriquement en ohms. Tant que la résistance d'isolement dépasse une certaine valeur, l'instrument indique la tension totale ; si la résistance baisse l'aiguille indique zéro.

E. B.

Digitized by Google

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 22 janvier 1900.

Sur la mesure de la capacité dans un milieu hétérogène, par **A.-A. Petrovsky**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 164-167.

Dans deux notes publiées l'an dernier MM. Borgmann et Petrowsky faisaient connaître une méthode nouvelle et très sensible pour la comparaison de deux petites capacités et indiquaient quelques-uns des résultats qu'ils ont obtenus dans l'application de cette métkode (1). Dans une note récente M. A.-A. Petrovsky (2) donnait les résultats de ses recherches mathématiques sur l'expression de la capacité d'un condensateur plan, sphérique, ou cylindre à lame diélectrique hétérogène. La note qui nous occupe a pour objet de montrer l'accord des conséquences de ces recherches théoriques avec les résultats obtenus expérimentalement avec la méthode dont il vient d'être question.

L'auteur commence par faire observer que, toutes les méthodes nouvelles employées pour mesurer la capacité étant des méthodes dynamiques, employant les courants alternatifs, la capacité, définie par l'équation $C = \frac{Q}{V}$ doit être en général considérée comme une fonction du temps, au même titre que Q et V.

Pour cette raison les méthodes de compensation ne donnent pas toujours des équilibres bien définis et pour le montrer l'auteur considère le cas où le potentiel de la source est exprimé par la fonction

$$V = E_0 \sin 2\pi nt$$

Le calcul montre que, pour ce cas, la charge totale contenue dans le système est aussi une fonction du temps

$$Q = E_0 \sqrt{\frac{p^2+1}{\frac{p^2}{r_1^2}+\frac{1}{c^2}}} \sin(2\pi nt - \omega), \qquad (8)$$

où p a la valeur

$$p = \frac{2k}{Kn}$$

et c est la grandeur indiquée par la formule (4) (p. 153 de ce volume). Il s'ensuit que la charge totale a la même période que le potentiel, mais qu'elle diffère de celui-ci par sa phase ω pour laquelle

$$\operatorname{tang}\omega = \frac{p\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{r_1}\right)}{\frac{p^2}{r_1}+\frac{1}{c}}. \qquad (9)$$

Il est nécessaire, pour une compensation complète, que les amplitudes comme les phases des quantités Q soient égales, ce qui entraîne deux équations

$$\left.\begin{aligned} \frac{p^2+1}{\frac{p^2}{c^2}+\frac{1}{c}} &= \frac{p'^2+1}{\frac{p'^2}{r_1'^2}+\frac{1}{c'^2}}, \\ \frac{p\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{r_1}\right)}{\frac{p^2}{r_1}+\frac{1}{c}} &= \frac{p'\left(\frac{1}{c'}-\frac{1}{r'_1}\right)}{\frac{p'^2}{r'_1}+\frac{1}{c'}}. \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Dans les expériences faites avec J.-J. Borgmann, le système compensateur était formé par des colonnes de mercure (1). On peut admettre

(1) J.-J. Borgmann et A.-A. Petrovsky. Sur un cas particulier des oscillations électriques produites par une bobine de Ruhmkorff à circuit secondaire ouvert et sur une méthode nouvelle pour mesurer des capacités électriques, *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 194, 6 mai 1899. Capacité électrique des corps mauvais conducteurs, *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 357, 3 juin 1899.

(2) A.-A. Petrowsky. Sur la distribution du potentiel dans un milieu hétérogène, *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 152, 27 janvier 1900.

(1) Rappelons le dispositif expérimental : un fil conducteur, attaché à l'une des bornes d'une bobine de Ruhmkorff dont l'autre borne communique avec la terre, est relié à une électrode que l'on peut déplacer dans une gouttière horizontale (80 cm de longueur) creusée dans un bloc de paraffine et remplie d'eau. Les deux extrémités de cette gouttière sont munies d'électrodes en platine communiquant avec les deux électrodes d'un tube de Geissler pour analyse spectrale. Pour une certaine position de l'électrode mobile dans la gouttière, on remarque, quand la bobine est en fonction, un espace obscur très bien limité (un *nœud*) au milieu de la partie effilée du tube. L'adjonction d'une capacité quelconque à l'une des électrodes provoque le déplacement du nœud dans la direction de cette électrode. Par l'adjonction d'une capacité égale à l'autre électrode le nœud reprend sa position primitive.

Digitized by Google

que ces colonnes étaient des conducteurs parfaits. L'analyse des formules précédentes montre qu'une compensation complète ne peut être atteinte qu'aux cas où le système compensé est aussi ou conducteur ou un isolant. Dans tous les autres cas on pourra satisfaire à la première des équations (10), c'est-à-dire

$$\frac{p^2+1}{\frac{p^2}{r_1^2}+\frac{1}{c^2}} = r_1'^2. \qquad (11)$$

mais on ne pourra satisfaire à l'autre, qui, pour ce cas, se simplifie en prenant la forme

$$\frac{p\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{r_1}\right)}{\frac{p^2}{r_1}+\frac{1}{c}} = 0. \qquad (12)$$

Cette compensation incomplète, se manifestant en ce que le nœud devient très indistinctement déterminé, a été remarquée presque toujours pendant les expériences de MM. Borgmann et Petrovsky, et surtout quand les burettes (qui servaient de capacités) étaient remplies du liquide étudié. Ce dernier fait est aussi une conséquence de la théorie précédente, parce que la grandeur (12) est d'autant plus proche de zéro que r_1 est petit. De plus, on constatait que lorsque le nœud devenait trop indistinctement déterminé, on pouvait obtenir une compensation plus parfaite en changeant le nombre d'oscillations de l'interrupteur.

Si l'on trace une courbe exprimant la relation entre la phase et le nombre d'oscillations, on peut voir que ce sont les nombres très grands aussi bien que les nombres très petits qui favorisent la compensation, et qu'il y a toujours un certain nombre n d'oscillations où la phase ω devient maximum ; en général, il faut toujours s'éloigner de ce nombre nuisible.

Le calcul montre que la quantité $\frac{p^2+1}{\frac{p^2}{r_1^2}+\frac{1}{c^2}}$ qui entre dans l'équation (12) n'est rien autre que la valeur de la relation

$$\frac{\frac{1}{T}\int_0^T Q\,dt}{\frac{1}{T}\int_0^T V\,dt} = \overline{C}. \qquad (13)$$

où T est le quart de la période totale d'oscillation du potentiel de la source ; cette valeur peut être appelée par analogie comme *capacité apparente moyenne* du système étudié.

En différenciant cette valeur par rapport à n, il est facile de voir que le changement du nombre d'oscillations doit influencer la grandeur de la capacité mesurée.

La capacité diminue de r, jusqu'à c lorsque n augmente, ce qui est en concordance parfaite avec les résultats obtenus par les derniers travaux sur cette question (1).

L'analyse montre encore qu'il y a toujours un nombre n tel que la dérivée $\frac{\partial \overline{C}}{\partial n}$ devient maximum c'est-à-dire que dans les environs de ce nombre un petit changement de n doit avoir une influence notable sur la grandeur de la capacité mesurée. Un tel fait fut observé par MM. Borgmann et Petrovsky quand ils ont opéré sur des gaz.

Sur un phénomène particulier à l'emploi des courants triphasés en radiographie, par **Délézinier.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 169.

Dans cette note l'auteur revient sur un fait qui nous paraît avoir déjà été suffisamment indiqué dans le paragraphe 5 d'une note antérieure (*Écl. Élect.*, t. XXII, p. 37), à savoir : avec le dispositif employé par M. Délézinier, l'éclairement de l'ampoule n'est pas modifié si l'on vient à renverser les connexions de celle-ci avec la bobine.

Sur un nouveau procédé de dosage de l'aluminium, par **Alfred Stock.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 175-178.

Les méthodes généralement employées pour doser l'aluminium sont la précipitation par l'ammoniaque ou par l'hyposulfite de sodium. Dans le premier cas on obtient un précipité très difficile à laver, et l'opération exige un temps très long ; dans le second, l'alumine hydratée qui se produit est plus dense et se lave mieux mais elle est toujours souillée d'une très grande quantité de soufre. L'auteur propose le procédé suivant qui donne un précipité se rassemblant fort bien et se lavant avec la plus grande facilité.

A la solution d'aluminium, un peu acide, on ajoute un mélange à parties égales d'une solution de 25 p. 100 d'iodure de potassium et d'une solution saturée à froid d'iodate de potas-

(1) Voir Hanauer. *Écl. Élect.*, t. XX, p. 27, 8 juillet 1899.

Digitized by Google

sium (qui contient 6 à 7 p. 100 de ce sel). Après cinq minutes on décolore l'iode mis en liberté par une solution d'hyposulfite de sodium à 20 p. 100, on ajoute un peu du mélange sodique pour être sûr d'en employer un excès, puis un excès quelconque d'hyposulfite et on chauffe au bain-marie pendant une demi-heure. On obtient un précipité floconneux qui se dépose facilement, que l'on jette sur un filtre et que l'on traite comme dans la méthode de précipitation par l'ammoniaque.

La réaction du mélange d'iodure et d'iodate sur le sulfate d'alumine est exprimée par l'équation chimique.

$$Al^2(SO^4)^3 + 5KI + KIO^3 = 2Al(OH)^3 + 3H^2SO^4 + 6I.$$

Action du courant continu sur la respiration du muscle pendant sa survie, par **Th. Guilloz.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 200-203.

L'an dernier, l'auteur montrait par certains faits que le courant continu est un modificateur puissant de la nutrition dont il augmente l'activité chez les ralentis : goutteux et obèses. Pour démontrer cette propriété d'une manière directe, il a expérimenté sur une patte de grenouille écorchée, les muscles ayant, quand on les met à l'abri de la putréfaction, une survie très longue pendant laquelle ils absorbent de l'oxygène et dégagent du gaz carbonique. M. Guilloz a constaté que dans une patte traversée par un courant continu (intensité 2 milliampères) l'absorption et le dégagement sont bien plus importants que dans une patte témoin, non soumise à l'action d'un courant.

SOCIÉTÉ PHYSICO-CHIMIQUE RUSSE (1)

Sur le courant thermo-électrique dans un circuit formé par un métal unique, par **B. Rosing**. *Journal de la Société*, t. XXX, p. 161-168.

On obtient les résultats les plus réguliers, dans des expériences de ce genre, en opérant sur un même fil de métal que l'on coupe en deux et dont on saisit un bout avec des pinces en platine chauffées au rouge, pour le mettre immédiatement en contact avec l'autre. Dans ces conditions, le sens du courant est déterminé par les propriétés thermo-électriques du métal étudié par rapport au plomb. Le plomb lui-même ne donne pas de courant mesurable. L'or, l'argent, le cuivre, le fer, l'étain, le platine et ses alliages avec l'iridium donnent toujours des courants dirigés de l'extrémité froide à l'extrémité chauffée. Le palladium et l'argentan donnent des courants de direction inverse, et l'aluminium seul produit un courant de direction variable. On trouve dans la table de Tait que la plupart des métaux de la première série possèdent un pouvoir thermo-électrique supérieur à zéro, ceux de la deuxième, des pouvoirs moindres que zéro ; et l'aluminium, le platine et l'étain possèdent des pouvoirs thermo-électriques de signes variables selon l'état moléculaire et la température.

D'après les idées de Kohlrausch, le courant thermo-électrique doit être la conséquence d'un transport inégal de la chaleur des deux côtés de la surface de contact ; cette différence est produite, d'après l'auteur, par l'inégale température des deux surfaces de contact du fil coupé. Le mémoire original contient une table des résultats numériques.

Sur une propriété des lignes de flux du courant électrique dans un milieu hétérogène, par **D. D. Chwolson**. *Journal de la Société*, t. XXXI, p. 1-6.

Pour donner une interprétation mathématique des nombreuses expériences sur la propagation du courant électrique dans les électrolytes, présentées plusieurs fois à la Société physico-chimique par M. Kowalewsky, l'auteur discute le cas suivant : concevons un espace indéfini divisé par un plan en deux parties de conductibilités différentes, électrolyte et métal par exemple. Les électrodes A et B sont contenues toutes les deux dans l'électrolyte. Une partie des lignes de flux seront entièrement confinées dans cet électrolyte ; d'autres passeront en partie dans le métal. Le lieu des points de contact de ces lignes est accusé par l'absence de l'électrolyse à la surface du métal et forme ainsi une ligne neutre. En appliquant les formules générales, l'auteur trouve que la forme de la ligne neutre est déterminée par la position des électrodes A et B par rapport au plan de séparation, mais reste indépendante de la conductibilité de la matière remplissant l'espace des deux côtés

(1) D'après le résumé des travaux de cette société publié par M. Lermantoff dans le numéro de janvier du *Journal de Physique*.

Digitized by Google

du plan de séparation. La ligne neutre est un cercle, si les deux électrodes sont réduites à des points.

Sur la transmission de l'électricité par l'air à haute température, par **M. Khessin**. *Journal de la Société*, t. XXXI, p. 6-50.

Un tube en porcelaine de 2 centimètres de diamètre intérieur contenant deux électrodes en platine, en forme de disque de 6 millimètres de diamètre, a été chauffé par une spirale en platine entourant le tube et traversée par un courant électrique. Les électrodes étaient supportées par de minces tubes de porcelaine concentriques au tube chauffé, mais supportés par des colonnes bien isolées, indépendantes. Entre la spirale en platine et le tube, une feuille de platine était placée et communiquait avec le sol ; dans cette sorte d'écran, on constatait un courant dérivé entre la spirale et les électrodes principales. On se servait, pour l'échauffement du tube, du courant alternatif du réseau de l'éclairage électrique, de 100 volts et de 76 à 74 ampères, ou bien du courant d'une batterie d'accumulateurs. La température a été évaluée par un couple Le Chatelier et un galvanomètre d'Arsonval à miroir, il a été facile de l'entretenir constante à plus de 1 000° C. Une batterie de 100 accumulateurs de très petite dimension a été employée comme source de force électromotrice. Toute une série de commutateurs en paraffine, à contact de mercure, permettaient de faire promptement les combinaisons nécessaires des conducteurs.

Une des électrodes étant en communication avec la batterie, dont l'autre borne était mise à la terre, le courant se bifurquait; un courant dérivé retournait par l'air échauffé et la deuxième électrode directement à la batterie, le reste du courant se diffusait à la terre à travers l'air ambiant. On pouvait mesurer l'un ou l'autre courant en plaçant un galvanomètre Du Bois-Rubens (sensibilité $1{,}76.\ 10^{-10}$ ampère) entre la deuxième électrode et la terre, ou entre la terre et un point du conducteur réunissant cette électrode à la batterie. Pour mesurer le courant total, on plaçait le galvanomètre entre la batterie et la terre.

L'air commence à laisser passer le courant à la température de 550° C; sa conductibilité augmente très vite quand la température monte ; mais elle décroît quand on fait croître la force électromotrice. Le maximum de conductibilité correspond à une distance entre les électrodes égale à 2 millimètres. Aux distances moindres, le courant dérivé diminue notablement et tend vers zéro pour des distances infiniment petites. Dans le courant diffusé, l'électricité négative passe plus facilement que la positive à des températures inférieures à 1 000° C ; le contraire a lieu à des températures dépassant 1 050 C. Le courant dérivé diminue quand on laisse le circuit fermé pendant quelque temps ; on pourrait croire à l'existence d'une vraie polarisation des électrodes, s'il n'y avait pas absence du courant de décharge.

Les actions pondéro-motrices d'un tube de Crookes à rayons X, et l'aspect de son changement d'action, par **N. Mychkine**. *Journal de la Société*, t. XXXI, p. 53-64.

Une aiguille magnétique légère, placée dans le champ d'un tube de Crookes, s'arrête dans une position parallèle à la ligne droite, joignant les électrodes ; une aiguille semblable, en métal non magnétique ou en matière diélectrique, se comporte de même. Une aiguille de dimensions et de masse plus considérables accomplit des oscillations de grande amplitude et commence à tourner plus continuellement, si elle reçoit un choc léger. Elle peut tourner indifféremment dans les deux sens, mais avec des vitesses bien différentes. Un disque en mica, en celluloïd, ou une roue de Franklin, à rayons multiples, tournent de même. L'observateur, regardant dans la direction des rayons cathodiques, remarque que la rotation la plus favorisée s'effectue contrairement à celle des aiguilles d'une montre, dans la partie à droite du champ, et réciproquement, dans le sens des aiguilles d'une montre, dans la partie à gauche. Un disque en celluloïd mince, pouvant tourner facilement sur une aiguille plantée au sommet d'un cône en verre mince, présente un instrument simple et commode pour l'exploration du champ d'un tube de Crookes. Des expériences nombreuses, faites par ce moyen, ont conduit l'auteur à la conception suivante : le champ d'un tube de Crookes est constitué par deux tourbillons annulaires, entourant l'une et l'autre extrémité du tube ; la rotation du tourbillon de l'extrémité cathodique coïncide avec la direction des rayons cathodiques, et celle du tourbillon

Digitized by Google

de l'autre extrémité est en sens inverse, mais d'intensité beaucoup supérieure. Une rotation du tube autour de la ligne de ces électrodes ne produit aucun changement dans son action sur le disque mobile, de sorte qu'on peut considérer son champ comme symétrique par rapport à la ligne des électrodes. Sur l'un des plans perpendiculaires à cette droite, entre l'anode et la cathode, se trouve une zone neutre, dans laquelle la rotation du disque s'arrête pour changer de direction, quand on le déplace d'un bout du tube à l'autre.

L'auteur considère ces conclusions comme le résultat préliminaire d'une recherche faite à l'aide d'appareils grossiers.

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Séance du vendredi 26 janvier 1900.

L'acétylène et ses applications. L'acétylène dissous, par **Janet**.

Comme l'indique le titre de sa communication M. Janet s'est principalement étendu sur la mise en pratique et les applications du procédé d'emmagasinement de l'acétylène de MM. G. Claude et A. Hess, que l'un des inventeurs, notre regretté collaborateur Hess, faisait connaître à nos lecteurs dans le numéro de cette revue du 20 mars 1897 (t. X, p. 548).

Dans la première partie de cette conférence, celle que l'on peut considérer comme l'introduction au sujet principal, l'orateur montre rapidement le développement qu'a pris la fabrication du carbure de calcium depuis sa récente découverte. Il fait remarquer que si la préparation de l'acétylène a été jusqu'ici le plus grand débouché de ce produit du four électrique, on peut entrevoir déjà quelques autres applications, surtout pour les déchets de fabrication qui, en raison de leur impureté, ne peuvent convenir à la production de l'acétylène. Il rappelle en particulier les services que le carbure de calcium impur peut rendre à l'agriculture sous deux points de vue : comme moyen de chaulage, la chaux résultant de la décomposition du carbure de calcium par l'air atmosphérique étant dans un état de division qui la rend facilement assimilable, et comme agent de destruction des parasites, par les divers gaz (le phosphure d'hydrogène, par exemple) qui accompagnent l'acétylène se dégageant d'un carbure impur. Passant ensuite à l'acétylène M. Janet fait observer que, son champ d'application, encore restreint à l'éclairage, ne peut également manquer de s'étendre ; déjà on a proposé de l'employer à l'alimentation des moteurs et à la préparation d'un noir de fumée impalpable par combustion en présence d'une faible quantité d'oxygène ou mieux encore par décomposition par la chaleur à l'abri de l'oxygène ; d'autre part la facile combinaison du brome et de l'acétylène fait du produit de cette combinaison, le bibromure d'acétylène, un agent que ne manqueront pas d'employer les chimistes pour la préparation de quelque composé organique, dérivé de l'acétylène, susceptible d'applications industrielles.

Abordant l'emploi de l'acétylène pour l'éclairage, M. Janet rappelle que deux moyens s'offrent au consommateur pour se procurer cet agent d'éclairage : production sur place au moyen de gazogènes et production dans une usine suivie d'un transport aux lieux de consommation.

Le premier de ces procédés, le plus souvent adopté jusqu'ici, n'est pas sans inconvénients en raison des dangers d'explosion qu'il présente, dangers qui se manifestent trop souvent par des accidents regrettables. Toutefois ces accidents ne sont pas dus, comme on pourait le craindre de prime abord, aux propriétés explosives de l'acétylène lui-même. Sauf deux (celui de l'usine Pictet survenu il y a trois ans et dû à une explosion d'un récipient d'acétylène liquide, et celui plus récent, qui a eu lieu au laboratoire de M. Vieille où l'on se plaçait, à dessein et à titre d'essai, dans les conditions où une explosion est à craindre), les nombreux accidents qu'enregistre quotidiennement la presse sont dus à des explosions d'un *mélange d'air et d'acétylène* et résultent soit d'un vice de construction des appareils soit d'une manipulation imprudente par des personnes ne se doutant pas du danger qu'elles courent ; ils peuvent donc être évités par une fabrication plus soignée des appareils et par un usage mieux compris de ceux-ci.

Le second procédé d'alimentation présente à ce dernier point de vue des avantages incontestables, la manipulation des appareils mis entre les mains du consommateur étant alors beaucoup

Digitized by Google

plus simple que celle d'un gazogène et ne pouvant donner lieu à des explosions de mélanges d'air et d'acétylène que par suite d'une maladresse vraiment extraordinaire. Mais pour transporter à peu de frais l'acétylène il faut, comme pour le transport de l'oxygène, de l'anhydride carbonique, du gaz chlorhydrique, etc., faire tenir dans un volume restreint une quantité considérable de gaz. L'acétylène sous pression, et plus encore l'acétylène liquide étant, en raison du caractère endothermique de l'acétylène, des explosifs dangereux, la question ne pouvait être résolue dans cette voie (1). La dissolution de l'acétylène dans un dissolvant approprié parut préférable à MM. Claude et Hess qui, en 1896, à la suite de quelques essais, préconisèrent comme dissolvant l'acétone. De nombreuses expériences faites depuis ont montré que les prévisions des inventeurs étaient fondées et que, pourvu qu'on ne dépasse pas une certaine pression assez élevée (10 atmosphères) la dissolution de l'acétylène sous pression dans l'acétone ne présente pas de dangers d'explosion (2).

La question de l'emmagasinement et du transport de l'acétylène paraissait donc résolue par la dissolution du gaz dans l'acétone sous une pression voisine de 10 atmosphères. Elle l'était en effet théoriquement, mais dans l'application une difficulté se présenta : le volume de l'acétone augmentant d'environ 40 p. 100 lorsqu'on y dissout de l'acétylène sous une pression de 10 atmosphères, diminue au contraire quand le gaz dissous s'échappe ; par suite un récipient plein de liquide au début présente, après quelque temps d'utilisation, un certain volume vide de liquide et renfermant de l'acétylène gazeux sous pression. Il y a donc de ce fait risque d'explosion. Certes le risque est moins grand que si tout le récipient est rempli de gaz sous pression car les travaux de MM. Berthelot et Vieille que nous rappelions plus haut ont montré que seul l'acétylène gazeux peut se décomposer dans ces conditions, l'onde explosive ne se propageant pas dans l'acétylène dissous dans l'acétone pourvu que la pression ne dépasse pas trop la limite indiquée précédemment. Mais si faible qu'il soit ce risque est suffisant pour empêcher certaines applications de l'acétylène, l'éclairage des voitures de chemins de fer et de tramways par exemple. Il fallait donc le supprimer.

Comment y est-on parvenu ? Tout simplement en utilisant une propriété connue des tubes capillaires : celle d'empêcher la propagation d'une onde explosive déterminée en un de leurs points s'ils sont suffisamment étroits pour que le refroidissement dû aux parois compense le dégagement de chaleur provenant de la réaction explosive. On a rempli les récipients de rondelles empilées d'un corps extrêmement poreux, occupant *toute* la capacité du récipient, et capable d'absorber une quantité considérable d'acétone où l'on dissout ensuite de l'acétylène sous pression. Dès lors il n'y a plus de danger car le gaz se trouvant obligé de passer à travers une multitude de canaux capillaires avant de s'échapper une onde explosive ne peut s'y propager (1). On perd il est vrai un peu de la puissance d'emmagasinement, le volume occupé par la masse poreuse n'étant pas utilisé, mais la quantité de gaz emmagasiné par unité de volume total est encore suffisamment grande pour que le procédé reste industriel car les essais ont montré que

(1) Voir Berthelot et Vieille. Recherches sur les propriétés explosibles de l'acétylène, *Écl. Élect.*, t. IX, p. 130. Conditions de propagation de la décomposition de l'acétylène pur. *Ibid.*, t. XII, p. 95. Sur l'aptitude explosive de l'acétylène mélangé à des gaz inertes, *Ibid.*, t. XX, p. 511. — Berthelot et Le Chatelier. Sur la vitesse de détonation de l'acétylène, *Ibid*, t. XX, p. 433.

(2) Berthelot et Vieille. Aptitude à la détonation et à l'inflammation de l'acétylène dissous dans l'acétone, *Écl. Élect.*, t. XII, p. 94.

(1) L'expérience suivante signalée par le conférencier à la fin de sa communication montre bien que l'emploi de l'acétylène dissous dans l'acétone ne présente pas de danger :

Dans les essais faits à la demande de la Compagnie P.-L.-M. on provoqua, au moyen d'un fil de platine rougi par un courant électrique, la décomposition de l'acétylène gazeux situé à la partie supérieure d'un récipient de 300 litres. Dans le but de relever le plus vite possible les indications du « crusher » contenu dans le récipient et destiné à mesurer la pression développée par l'explosion partielle, on laissa l'acétylène se dégager immédiatement après l'essai. Par suite de la position des robinets d'écoulement le gaz avait à traverser la masse de charbon incandescent à laquelle avait donné naissance l'acétylène décomposé. Cette masse incandescente provoqua une nouvelle décomposition partielle du gaz et par conséquent un dégagement de chaleur qui bientôt amena la partie supérieure du récipient à la température de fusion du zinc, métal dont une couche recouvrait les joints du récipient en vue de le rendre hermétique. Avec la fusion du zinc des fuites se produisirent et une nappe de feu circulaire de 30 cm de diamètre prit naissance. Néanmoins le récipient se vida peu à peu sans explosion.

Digitized by Google

dans un récipient de un litre on peut, sous pression de 10 atmosphères, faire tenir 100 litres de gaz acétylène mesurés sous la pression atmosphérique.

Cette même propriété des corps poreux a été utilisée ensuite pour rendre inoffensif l'acétylène *gazeux* sous pression. On remplit alors les récipients d'une sorte de béton extrêmement léger contenant une assez forte proportion de charbon de bois et on y comprime de l'acétylène sous une pression de 7 atmosphères. Dans ces conditions il n'y a pas plus de danger qu'avec l'acétylène dissous dans l'acétone. La quantité d'acétylène emmagasiné par unité de volume du récipient est de beaucoup inférieure à celle que l'on peut emmagasiner par ce dernier procédé : un récipient de un litre renferme, sous la pression de 7 atmosphères, de 8 à 9 litres seulement d'acétylène mesurés sous la pression atmosphérique. Mais par suite de la suppression du dissolvant et du prix relativement peu élevé du béton par rapport à celui des briques poreuses, l'emmagasinement par compression est plus économique que l'emmagasinement par dissolution et dans certains cas où l'on n'a pas besoin d'une grande réserve de gaz, le premier mode peut-être appliqué avantageusement. C'est ainsi qu'il convient mieux que le second pour l'éclairage des voitures de chemins de fer et de tramways lorsqu'on est obligé de mettre les récipients sur le toit de la voiture ; dans ce cas en effet les récipients se trouvent, pendant l'été, portés à une température assez élevée et comme le coefficient de solubilité de l'acétylène dans l'acétone décroît assez vite quand la température s'élève, la pression croît beaucoup plus vite dans les récipients à acétylène dissous que dans ceux à acétylène comprimé ; les soupapes de sûreté des premiers entrent alors en jeu et une partie notable du gaz emmagasiné se trouve ainsi perdue.

Après avoir développé les renseignements qui précèdent sur les deux procédés qui peuvent être employés pour le transport de l'acétylène sous volume restreint, M. Janet fait connaître quelques-unes des applications déjà réalisées ou dont la réalisation ne saurait tarder.

Il signale en premier lieu l'application à l'éclairage des voitures du funiculaire de Belleville où l'on emploie l'acétylène dissous et à celui des voitures de la ligne Porte d'Ivry-les-Halles où l'on utilise l'acétylène comprimé. Il montre ensuite une sorte de torche à acétylène constituée par un long récipient cylindrique à la partie supérieure duquel se trouve une couronne de becs ; l'appareil, d'un poids restreint, peut être facilement porté sur l'épaule comme un fusil et est appelé à rendre des services toutes les fois qu'on a besoin d'un éclairage intense, par exemple pour le déblaiement des voies après un accident de chemin de fer. En mettant un disque de verre rouge sur le trajet de la lumière émise on réalise avec cette torche un signal de protection d'un train arrêté en pleine voie, nécessairement beaucoup plus efficace que les lanternes à huile employées ordinairement dans ce but. Restant dans le même ordre d'idées le conférencier montre une lanterne de queue de train alimentée à l'acétylène.

M. Janet fait ensuite fonctionner divers appareils d'éclairage où la chaleur dégagée par la combustion de l'acétylène est utilisée pour porter à l'incandescence des manchons Auer. La réalisation de ce mode d'éclairage présente des difficultés. Il faut en effet qu'avant sa sortie du brûleur le gaz acétylène soit mélangé avec une quantité d'air suffisante pour le brûler complètement. Or la vitesse d'inflammation d'un tel mélange est très grande, beaucoup plus grande que la vitesse d'échappement généralement admise ; par suite la flamme rentre dans le brûleur et le brûleur s'éteint. On est cependant parvenu à surmonter cette difficulté, comme le prouvait le bon fonctionnement des appareils présentés par le conférencier. Ce mode d'utilisation de l'acétylène est d'ailleurs d'un très bon rendement, ce qui se conçoit car à la chaleur produite par la combustion du carbone et de l'hydrogène de l'acétylène vient s'ajouter celle qui résulte de la décomposition du gaz lui-même, de sorte que l'on obtient une température beaucoup élevée qu'avec la combustion du gaz d'éclairage. Avec un bec dit « bec bébé » l'avantage n'est pas très marqué, mais avec des becs de plus grandes dimensions on obtient un accroissement considérable de la puissance lumineuse en substituant l'acétylène au gaz d'éclairage. Sous cette forme l'éclairage à l'acétylène peut être appliqué à l'éclairage des chantiers et récemment un appareil à manchon incandescent a été employé avec succès à l'éclairage des tra-

Digitized by Google

vaux exécutés de nuit sur le chemin de fer de ceinture dans le voisinage de la gare de Courcelles. Le prix de revient de ce mode d'éclairage peut d'ailleurs rivaliser avec ceux des autres procédés d'éclairage utilisés dans le même but, car on obtient la carcel-heure avec une consommation de 2 litres d'acétylène et le mètre cube d'acétylène peut être vendu 4 fr., location des appareils compris; le prix de la carcel-heure ressort donc à 0,8 centime.

Quant au remplissage des appareils d'utilisation il s'effectue ou à l'usine ou chez le consommateur. A l'usine se trouvent de vastes récipients d'acétylène dissous, formant accumulateurs, qu'il suffit de mettre en communication avec les récipients à charger. Pour effectuer le remplissage chez le client on commence par remplir à l'usine quatre récipients d'un volume de 250 litres qui, ensemble, peuvent recevoir 100 m³ de gaz. Ces récipients sont placés sur une voiture qui les transporte chez le consommateur; là on les met en communication avec les appareils d'utilisation.

Dans la dernière partie de sa communication M. Janet fait observer que si l'acétylène dissous ou comprimé remplace avantageusement chez le client les générateurs d'acétylène gazeux, il est des cas, où par suite d'un trop grand éloignement de l'usine de charge, l'emploi de ces générateurs s'impose. Aussi décrit-il deux générateurs de petites dimensions dont le fonctionnement a donné jusqu'ici toute satisfaction.

Le principe utilisé dans ces générateurs est celui que M. Gossart a utilisé depuis plusieurs années dans la construction de ses lampes portatives (1): le réglage au moyen des phénomènes capillaires de l'eau mise en contact avec le carbure de calcium. Mais tandis que dans les lampes de M. Gossart l'écoulement a lieu par des tubes métalliques capillaires, il se produit, dans les appareils décrits par M. Janet, par imbibition d'une mèche ou d'une feuille de drap.

L'un de ces générateurs est constitué par un récipient séparé en deux compartiments par une cloison horizontale; dans le compartiment supérieur se trouve l'eau; dans le compartiment inférieur se trouve le carbure; les deux compartiments communiquent pas un tube que remplit complètement une mèche de coton. L'eau pénètre par capillarité dans le compartiment inférieur et l'acétylène se dégage; quand on ferme le robinet de dégagement la pression s'élève dans le récipient à carbure et s'oppose à l'écoulement de l'eau. Ce générateur a été appliqué à la construction d'une lampe de mine de sûreté donnant une quantité de lumière considérable. Dans un modèle le brûleur est disposé de manière à ce qu'on puisse avoir à volonté, par une introduction d'air plus ou moins grande, une flamme éclairante ou une flamme bleue; cette dernière flamme change de couleur lorsque l'air de la mine contient du grisou; de sorte que la lampe constitue un avertisseur de la présence de ce dangereux gaz.

L'autre générateur présenté par M. Janet est formé d'une cuvette surmontée d'un couvercle; les parois internes de la cuvette sont tapissées par une feuille de drap dont les bords, serrés entre la cuvette et le couvercle, sont à l'extérieur de l'appareil. Sur le drap se trouve une feuille de plomb percée de trous qui maintient le drap et qui reçoit le carbure de calcium. Tout l'appareil étant plongé dans un seau d'eau, l'eau pénètre peu à peu à travers les pores du drap et l'acétylène se produit. Une disposition particulière du tube de dégagement force le gaz à se dessécher par son passage sur du carbure de calcium avant d'arriver au brûleur. M. Janet fait fonctionner un gazogène de ce genre et s'en sert pour alimenter un projecteur constitué par un miroir parabolique suivant l'axe duquel sont disposés trois ou quatre brûleurs. Ce projecteur est utilisé par le conférencier pour projeter une vue de la voiture servant au transport de l'acétylène, dont il a été question plus haut, ainsi que quelques vues prises par M. Janet en Extrême-Orient et qui, bien que n'ayant avec la question de l'acétylène d'autre rapport que le mode d'alimentation de l'appareil de projection, n'en étaient pas moins intéressantes.

J. B.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 231, 31 octobre 1896 et t. XXI, p. 218, 11 novembre 1899.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 10 Février 1900. 7e Année. — N° 6

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

RELATIONS ENTRE L'AIMANTATION ET LES AUTRES PHÉNOMÈNES (1)

Tout ce qu'on sait sur l'aimantation porte à penser que, quelle qu'en soit la cause précise, elle modifie les dispositions relatives des molécules, leur orientation, sans probablement altérer les molécules elles-mêmes. Il en résulte qu'elle ne doit pas modifier les propriétés dépendant de la molécule même (poids moléculaire ou densité de vapeur, chaleur spécifique, etc.), tandis qu'elle peut avoir une influence sur celles qui dépendent des positions relatives des molécules (conductibilité électrique ou thermique, propriétés mécaniques, dimensions, etc.). C'est bien, en effet, ce qui correspond aux résultats expérimentaux obtenus jusqu'ici.

D'ailleurs, l'action d'un champ magnétique sur les positions relatives des molécules est surtout considérable pour les corps très magnétiques tels que le fer, le nickel, le cobalt et leurs alliages; elle existe aussi, mais beaucoup plus faible, pour la plupart des autres corps. On doit donc s'attendre à observer des changements plus considérables dans les corps très magnétiques que dans les autres; c'est ainsi que la polarisation rotatoire magnétique produite par des lames minces de fer, de nickel ou de cobalt est énorme par rapport à celle que l'on obtient pour les autres corps (2); les conductibilités électrique et thermique pré-

(1) Ayant eu l'occasion d'analyser un grand nombre de travaux relatifs à cette question, je pense être utile aux personnes qui s'occupent du magnétisme, en réunissant ici les principales indications bibliographiques et en indiquant les résultats les plus généraux.

(2) KUNDT, *C. R. de l'Acad. de Berlin*, 1884 et 1885; *Journ. de Ph.* (2), t. III, p. 496, 1884; et t. V, p. 78, 1886. — DU BOIS, *Wied. Ann.*, t. XXXI, p. 341, 1887.

Digitized by Google

sentent cependant le phénomène inverse, leur variation dans un champ magnétique étant bien plus grande pour le bismuth que pour les métaux magnétiques; cette exception semble bien difficile à expliquer actuellement.

Inversement, les agents qui modifient les positions relatives des molécules, comme les variations de température ou les actions mécaniques, influent sur les propriétés magnétiques ; nous laisserons de côté ici l'influence de la température (1).

Actions mécaniques (2). — Les relations entre l'aimantation et les phénomènes mécaniques sont très intéressantes, non seulement en elles-mêmes, mais à cause des liens théoriques qu'on a pu établir entre elles, et que l'expérience a presque toujours confirmés : par exemple, une traction diminue l'aimantation acquise par le nickel dans un champ donné, et inversement le nickel se raccourcit quand on l'aimante.

L'aimantation semblant consister en une orientation d'aimants particulaires sous l'action du champ, on peut prévoir que tout ce qui facilitera le mouvement des particules accentuera l'action du champ magnétique : en effet, si par exemple on imprime des vibrations à un noyau qu'on a soumis à un champ croissant à partir de zéro, l'aimantation qu'il avait déjà acquise augmente ; inversement, en agissant de même sur un noyau qu'on désaimante en diminuant progressivement le champ, on obtient une diminution de l'aimantation, et si, à ce moment, on était revenu à une valeur nulle du champ, l'aimantation rémanente disparaît en grande partie, à moins qu'on n'ait pris des précautions spéciales. En soumettant à un cycle du champ un noyau maintenu continuellement en vibration, on obtient une courbe d'aimantation presque réversible, c'est-à-dire dont les deux branches sont presque confondues ; la perte d'énergie due à l'hystérésis est donc alors très faible (des effets de ce genre se produisent très probablement dans les machines industrielles et réduisent les pertes par hystérésis). Si on produit des chocs sur un aimant permanent, comme il est actuellement soumis au champ démagnétisant dû à l'action de ses pôles, son aimantation diminue (à moins de précautions particulières dans sa construction).

(1) Voir, relativement à l'influence de la température : *Le magnétisme du fer*, *Scientia*, sér. Physico-Mathématique, n° 2, Carré et Naud, Paris, 1899.

(2) *Tension. Pression longitudinale :* Matteucci, *C. R.*, t. XXIV, p. 301, 1847. — Villari, *Pogg. Ann.*, t. CXXVI, p. 87, 1863. — Lord Kelvin, *Phil. Trans.*, t. CLII, p. 64, 1878 et *Reprint of Papers*, t. II, p. 332. — Ewing, *Phil. Trans.*, t. CLXXVI, 2e p., p. 608, 1885. — H. Tomlinson, *Proc. Roy. Soc. London*, t. XLII, p. 230, 1887. — Ewing et G.-C. Cowan, *Phil. Trans.*, t. CLXXIX, p. 325 et 333, 1888. — H. Tomlinson, *Phil. Mag.* (5), t. XXIX, p. 394, 1890. — Chree, *Phil. Trans.*, t. CLXXXI, A, p. 329, 1890. — Heydweiller, *Wied. Ann.*, t. LII, p. 462, 1894. — B. Brackett, *Phil. Rev.* (5), p. 257, 1897. — Nagaoka et Honda, *Phil. Mag.* (5), t. XLVI, p. 261, 1898 et *Écl. Él.*, t. XIX, p. 504, 1899.

Pression uniforme : Wassmuth, *Sitz. d. Akad. d Wissensch. zu Wien*, t. LXXXVI, p. 539, 1882. — Nagaoka et Honda, *l. c.*

Torsion : Matteucci, *l. c.* — G. Wiedemann, *Pogg. Ann.*, t. CIII, p. 563, 1858. — Lord Kelvin, *l. c.* — Ewing, *Proc. Roy. Soc. London*, 1881, p. 21 et 1883, p. 117. — Knott, *Trans. Roy. Soc. Edimb.*, t. XXXII, p. 193, 1883. — G. Wiedemann, *Wied. Ann.*, t. XXVII, p. 376, 1886. — Zehnder, *Wied. Ann.*, t. XXXVIII, p. 68, 1889 et t. XLI, p. 210, 1890. — Nagaoka, *Jour. Coll. of Science, Imp. Univ. of Japan*, t. II, 1888, p. 283 et 304, et t. III, 1890, p. 335; *Phil. Mag.* (5), t. XXIX, p. 123, 1890. — Knott, *Proc. Roy. Soc. Edimb.*, t. XVIII, p. 481, 1890, et t. XVIII, p. 124, 1891. — G. Moreau, *C. R.*, t. XXII, p. 1192, 1896.

Influence de l'aimantation transversale : G. Wiedemann, *Pogg. Ann.*, t. CXVII, p. 213, 1862. — Streintz, *Acad. de Vienne*, 1876. — Janet, *Ann. de l'Ens. sup. de Grenoble* (2), 1890. — Knott, *l. c.* — Villari, *Mem. di Bologna* (5), t. II, p. 443, 1892.

Influence d'une aimantation transversale oscillante : Gerosa et Finzi, *Rendi Conti del R. Ist. Lombardo*, t. XXIV, fasc. x, avril 1891. — Finzi, *The Electrician*, p. 672, 3 avril 1891.

Théorie : Kirchhoff, *Wied. Ann.*, t. XXIV, p. 52, 1885 et *Gesammelte Abhandlungen*, p. 91, Leipzig, 1891. — J.-J. Thomson, *Applic. of Dynamics to Physics and Chemistry*, *London*, 1883. — Nagaoka et Jones, *Phil. Mag.* (V), t. XLI, p. 454, 1896. — Nagaoka et Honda, *l. c.* — On trouvera une étude très intéressante de ces phén. dans : Ewing, *Magn. Ind. in Iron*, chap. IX, p. 185.

Digitized by Google

Toute cause mettant en mouvement les aimants particulaires doit produire des effets analogues : c'est ce qu'on vérifie par exemple en faisant passer dans le noyau lui-même un courant alternatif, produisant une aimantation transversale alternative qui met les particules en vibration.

Mais, en dehors de cette aide apportée à l'action du champ magnétique, il est bien difficile de prévoir ou d'expliquer l'influence des actions mécaniques ; ainsi, une traction exercée sur un fil de fer diminue son aimantation dans les champs faibles ; il y a au contraire augmentation pour un fil de nickel ; pour les champs très considérables, c'est l'inverse.

Ewing a cherché à montrer que tous les résultats obtenus peuvent s'expliquer en partant de son hypothèse, que les seuls liens que les aimants particulaires aient à vaincre pour obéir à l'action du champ sont ceux qui résultent de leurs actions magnétiques réciproques ; mais, quelque ingénieux que soient ses raisonnements, il semble bien que la base soit insuffisante, ce qui résulte d'ailleurs de ce que les prévisions tirées des mêmes raisonnements ne sont pas toujours réalisées ; ainsi, une pression uniforme extérieure agissant sur un noyau plein doit augmenter les liens magnétiques réciproques des aimants particulaires, puisqu'elle rapproche ceux-ci, et par suite affaiblir ses propriétés magnétiques : or Nagaoka et Honda ont trouvé le contraire pour le nickel.

En somme, il est probable que dans les relations entre l'aimantation et les actions mécaniques, comme d'ailleurs dans tout ce qui concerne l'aimantation, interviennent d'autres forces moléculaires, d'origine non magnétique, de sorte que la diversité des résultats obtenus provient simplement de la variabilité de ces forces avec la nature du corps, et que les résultats obtenus ici sont aussi difficiles à relier à une théorie générale que tous ceux concernant des phénomènes moléculaires, par exemple l'élasticité, les dilatations, etc.

Dimensions et volume (1). — L'influence de l'aimantation sur les dimensions et par suite sur le volume du fer, du nickel et du cobalt a été mise en évidence d'une manière non douteuse ; les variations sont de l'ordre de 10^{-6} ; elles suivent, lorsqu'on fait croître le champ, une allure différente pour les trois métaux ; le fer par exemple s'allonge sous l'influence d'une faible aimantation longitudinale ; mais si on augmente le champ, la longueur passe par un maximum et décroît ensuite lentement. Il semble que dans ces expériences, et particulièrement dans celles où on a étudié la variation du volume, on n'ait pas assez tenu compte de la dilatation due au dégagement de chaleur résultant de l'aimantation ; on trouve par exemple que l'application d'un cycle d'aimantation correspondant à une dissipation d'énergie de 100 000 ergs causerait, en supposant que la chaleur produite échauffât le noyau seulement, une augmentation de volume de l'ordre de 10^{-7} ; l'erreur de ce chef peut être bien plus grande lorsque la chaleur peut se communiquer au liquide (plus dilatable que le fer) dans lequel on plonge généralement le noyau pour étudier sa variation de volume.

(1) Joule, *Phil. Mag.*, t. XXX, p. 76, 1847. — Wertheim, *Ann. de Ch. et de Ph.* (3), t. XXIII, p. 306, 1848. — Buff, *Ann. der Chemie und Pharm.*, t. III, p. 143, 1864. — Mayer, *Phil. Mag.*, t. XLVI, p. 177. — Barrett, *Nature*, t. XXVI, p. 585, 1882. — S. Bidwell, *Proc. Roy. Soc. London*, t. XLI, p. 109 et 257, 1886, et *Phil. Trans.*, p. 205, 1888. — Grimaldi, *Nuovo Cimento* (3), t. XXII, 1888. — Chree, *Phil. Trans.*, p. 329, 1890. — Cantone, *Mém. d. r. Accad. dei Lincei*, t. VI, p. 487, 1890. — Knott, *Proc. Roy. Soc. Edinb.*, t. XVIII, p. 315, 1891. — Berget, *C. R.*, t. CXV, p. 722, 1892. — Knott et Shand, *Proc. Roy. Soc. Edimb.*, t. XIX, p. 85 et 249, 1892. — Lechner, *Phil. Mag.* (5), t. XXXVI, p. 504, 1893. — Nagaoka, *Phil. Mag.* (5), t. XXXVII, p. 131, 1894. — S. Bidwell, *Proc. Roy. Soc. London*, t. LVI, p. 228, 1894, et *Lum. El.*, t. LII, p. 626, 1894. — Jones, *Phil. Mag.* (5), t. XXXIX, p. 254, 1895. — L.-T. More, *Phil. Mag.* (5), t. XL, p. 345, 1895. — Hurmuzescu, *Arch. de Genève* (4), t. IV, p. 431, 1897 — H. Nagaoka et K. Honda, *Phil. Mag.* (5), t. XLVI, p. 261, 1898 et *Ecl. El.*, t. XIX, p. 504, 1899.

Digitized by Google

Pouvoir inducteur spécifique (1) *et indice de réfraction* (2). — Toutes les expériences ont donné des résultats négatifs, malgré la sensibilité des méthodes employées ; ainsi, Koch aurait pu déceler au moyen d'un réfractomètre interférentiel un changement de l'ordre de 3.10^{-8} dans l'indice de réfraction des gaz, et de 3.10^{-7} dans celui des liquides ; il n'a obtenu aucune action d'un champ magnétique assez étendu de 3 000 C. G. S., non plus que d'un champ plus restreint environ dix fois plus intense. Des expériences particulièrement intéressantes sont celles de Shea, qui a étudié directement l'influence de l'aimantation sur la réfraction par des prismes très aigus des métaux magnétiques, obtenus par la méthode de Kundt (3) ; il n'a obtenu aucun résultat.

Pouvoir rotatoire magnétique. — Nous n'y insisterons pas ici (4) ; remarquons seulement que la loi des mélanges ne s'appliquant pas au pouvoir rotatoire magnétique, on ne peut pas déduire les propriétés d'un sel solide de l'étude de ses solutions, ni à plus forte raison celle d'un métal de l'étude de ses combinaisons.

Réflexion de la lumière sur les aimants (5). — Pour expliquer les modifications que subit la lumière polarisée en se réfléchissant sur un miroir métallique aimanté, l'hypothèse la plus simple est de faire intervenir la polarisation rotatoire magnétique de la couche où pénètrent les rayons lumineux ; mais il semble que certaines particularités du phénomène ne soient pas expliquées par cette hypothèse, de sorte qu'on devra peut-être en déduire une nouvelle action du champ magnétique.

Conductibilités électrique et thermique (6). — Le seul corps dont la conductibilité varie d'une manière considérable sous l'action d'un champ magnétique est le bismuth ; sa conductibilité électrique diminue quand le champ augmente à partir de o ; elle est réduite à

(1) Hall, *Silliman's American Journ. of Science* (3), t. XX, p. 161, 1880. — Van Aubel, *Bull. de l'Acad. des sciences de Belgique* (3), t. X, p. 609, 1885 et t. XXI, p. 280, 1896. — A. Palaz, *Arch. des sc. phys. et math. de Genève* (3), t. XVII, p. 422, 1887. — Drude, *Wied. Ann.*, t. LII, p. 498, 1894.

(2) D. Shea, *Wied. Ann.*, t. XLVII, p. 184, 1892. — Koch, *Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 132, 1897.

(3) Kundt, *Wied. Ann.*, t. XXXIV, p. 460, 1888, et t. XXXVI, p. 824, 1889.

(4) Voir : E. Mascart, *Traité d'optique*, t. II, p. 370, Paris, Gauthier-Villars, 1891. — Mascart et Joubert, *Traité d'él. et de magn.*, 2e édit., t. I, p. 746, Paris, Masson, 1896.

(5) Kerr, *Phil. Mag.* (5), t. III, p. 321, mai 1877, et t. V, p. 161, 1878. — Fitzgerald, *Proc. Roy. Soc. London*, t. XXV, p. 447, 1877. — Gordon, *Phil. Mag.* (5), t. IV, p. 104, 1877. — Hall, *Phil. Mag.* (5), t. XII, p. 157, 1881. — Lorentz, *Arch. néerlandaises*, t. XIX, p. 123, 1884. — Kundt, *Sitzungsber d. k. pr. Akad. d. Wiss. zu Berlin*, t. XXXIV, p. 761, 1884 ; *Phil. Mag.* (5), t. XVII, p. 308, 1884 ; *Wied. Ann.*, t. XXIII, p. 293, 1884, et t. XXVII, p. 198, 1886. — Van Loghem, *Dissert. Leyde*, 1884, et *Beiblætter*, t. X, p. 869, 1884. — Righi, *Ann. de Ch. et de Ph.* (6), t. IV, p. 433, 1885 ; t. VIII, p. 65, 1886, et t. X, p. 200, 1887. — Du Bois, *Wied. Ann.*, t. XXXIX, p. 25, 1890. — Basset, *Proc. Roy. Soc. London*, t. XLIX, p. 76, 1891. — Goldhammer, *Wied. Ann.*, t. XLVI, p. 71, 1892. — Drude, *Wied. Ann.*, t. XLVI, XLVIII, XLIX, L et LII. — Rosengvist, *Acad. d'Helsingfors*, 1892, et *Beiblætter*, t. XVIII, p. 221, 1892. — Sissingh, *Arch. Neerl.*, t. XXVII, p. 173, 1893, et *Wied. Ann.*, t. XLII, p. 115, 1894. — Zeeman, *Arch. Néerl.*, t. XXVII, p. 252, 1893. — Wind, *Comm. from the Lab. of Phys. of Leyden*, 1894.

(6) *Conductibilité électrique. Bismuth* : Righi, *Atti della reale Acad. dei Lincei*, 11 novembre 1883. — A. Hurion, *C. R. de l'Acad. des Sciences*, t. XCVIII, p. 1257, 1884. — A. Leduc, *J. de Ph.* (2), t. III, p. 363, 184, t. V, p. 118, 1886 et t. X, p. 112, 1891. — Van Aubel, *Phil. Mag.* (5), t. XXV, 1888. — Henderson, *Phil. Mag.* (5), t. XXXVIII, p. 448, 1894.

Autres substances : W. Thomson, *Phil. Trans.*, p. 315, 1856. — Beetz, *Pogg. Ann.*, t. CXXVIII, p. 173, 1866. — Adams, *Phil. Mag.* (5), t. I, p. 153, 1876. — Auerbach, *Wied. Ann.*, t. V, p. 289, 1878. — Goldhammer, *Wied. Ann.*, t. XXXVI, p. 804, 1889. — H. Tomlinson, *Phil. Mag.* (5), t. XXV, p. 285, 1888. — Garbasso, *Atti di Torino*, t. XXVI, p. 265, 1893. — Hurmuzescu, *Arch. de Genève* (4), t. IV, p. 540, 1897. — H. Bagard, *C. R.*, t. CXXVIII, p. 91, 1899.

2° *Conductibilité thermique. Bismuth* : Leduc, *C. R. de l'Acad. des Sc.*, t. CV, p. 250, 1887. — A. Righi, *Atti d. r. Acad. dei Lincei*, 19 juin 1887.

Autres substances : Maggi, *Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, t. XIV, p. 132, 1850. — Naccari et Bellati, *Nuovo Cimento* (3), p. 72 et 107, 1877. — Tomlinson, *Proc. Roy. Soc. London*, t. XXVII, p. 109, 1878. — Battelli, *Atti di Torino*, t. XXI, p. 559, 1886. — D. Korda, *C. R.*, t. CXXVIII, p. 418, 1899.

Digitized by Google

la moitié de sa valeur initiale dans un champ d'environ 20 000 C. G. S., au tiers dans un champ de 35 000 C. G. S. Les expériences peu précises faites sur la conductibilité thermique montrent qu'elle varie à peu près de même.

Pour les métaux magnétiques, la variation est beaucoup moins considérable, et de l'ordre des changements dans les dimensions sous l'influence du champ; elle est donc difficile à étudier avec précision, et les résultats obtenus sont parfois contradictoires; il semble cependant prouvé que la résistance du fer augmente dans une direction parallèle au champ; pour le nickel, le cobalt, le tellure, l'aluminium, on a observé d'une manière moins certaine une variation dans le même sens; pour les autres métaux, les résultats sont tout à fait incertains. Ces résultats portent à penser que la conductibilité thermique de ces corps doit être peu modifiée également dans un champ magnétique; d'ailleurs les méthodes de mesure ne comportent que peu de précision, et les variations observées par quelques auteurs sont dues sans doute à des causes perturbatrices.

Phénomène de Hall (1). — Il consiste dans la déviation, sous l'influence d'un champ magnétique, des lignes de flux d'un courant traversant une plaque conductrice et semble devoir être attribué, surtout d'après les résultats obtenus récemment par Lebret, à une variation dissymétrique de la résistance de la plaque. On l'a constaté dans un grand nombre de corps et particulièrement, par ordre d'intensité décroissante, dans le tellure, bismuth, antimoine, charbon, nickel, fer, cobalt, argent, or, cuivre, aluminium, etc.; le sens de la déviation des lignes de flux n'a pas de relation simple avec la nature magnétique des corps; ainsi il est le même pour le bismuth, le fer, le cobalt. Il existe également pour les solutions salines de métaux magnétiques ou non (fer, cuivre, zinc).

Phénomènes chimiques (2). — La manifestation la plus étudiée de l'action de l'aimantation sur les phénomènes chimiques est la variation dans un champ de la force électromotrice d'une pile dont une des électrodes est constituée par un métal magnétique; le sens de l'action peut être prévu par le raisonnement bien connu de M. Janet, dont il résulte que le fer aimanté est positif par rapport au fer non aimanté, ou encore que si on place dans un champ magnétique une pile dont une des électrodes est formée d'un métal magnétique, la force électromotrice doit augmenter si cette électrode est positive et diminuer dans le cas contraire. C'est ce qui a été observé en effet expérimentalement pour le fer et le nickel; on a observé une action de sens contraire pour le bismuth, corps diamagnétique.

Propriétés thermoélectriques (3). — La force électromotrice d'un couple thermoélectrique dont l'un des métaux est constitué par du fer varie dans un champ magnétique, mais ces variations dépendent de la direction de l'aimantation et ne sont pas de même sens pour

(1) Hall, *Am. Journ. of Math.*, t. II, p. 287, 1879; *Amer. Journ. of Science*, t. XX, p. 161, 1880; *Journ. de Ph.* (1), t. IX, p. 289, 1880 et t. X, p. 132, 1881. — S. Bidwell, *Phil. Mag.*, (5), t. XVII, p. 249, 1884. — Hall, *Phil. Mag.*, (5), t. XIX, p. 419, 1885. — Ettingshausen et Nernst, *Wien. Berl.* (2), t. XCIV, p. 560, 1886. — Lebret, *Comm. from Lab. of Physic at the Univ. of Leiden.* nos 15 et 19, 1895. — Pour les liquides, voir la bibliographie dans un article de H. Bagard, *Éclairage Élect.*, t. XV, p. 98, 1898.

(2) Remsen, *Lumière Él.*, t. IV, p. 126, 1881. — Colardeau, *Journ. de Ph.* (2), t. VI, p. 169, 1887. — P. Janet, *Journ. de Ph.* (2), t. VI, 289, 1887, t. VIII, p. 312, 1889. — Nichols et Franklin, *Amer. Journ. of Sc.*, t. XXXV, p. 190, 1889. — Duhem, Thèse de doct., Gauthier-Villars, p. 38, 1888. — Rowland et Bell, *Amer. Journ. of Sc.*, t. XXXVI, p. 39, 1888. — Turine, *Soc. Physico-Chimique russe*, t. XXIII, 1891. — Hurmuzescu, *J. de Ph.* (3), t. IV, p. 118, 1895, *Éclairage Él.*, t. II, p. 248, 1895, et *Arch. de Genève* (4), t. V, 27, 1898.

(3) W. Thomson, *Phil. Trans.*, t. III, p. 722, 1856. — Strouhal et Barus, *Wied. Ann.*, t. XIV, p. 54, 1881. — Bachmetieff, *Soc. Physico-Chimique russe*, 1891. — Chassagny, *C. R. de l'Acad. des Sc.*, t. CXVI, p. 377, 1893. — Battelli, *Nuovo Cimento* (3), t. XXXV, p. 55, 1894. — L. Houllevigue, *Ann. de Ch. et de Ph.* (7), t. VII, p. 456, 1896. — R. Defregger, *Wied. Ann.*, t. LXII, p. 97, 1897.

Digitized by Google

différents corps magnétiques ; ainsi avec un couple fer-cuivre, en faisant croître le champ à partir de o, la force électromotrice augmente d'abord, puis passe par un maximum et diminue ensuite en devenant plus faible qu'elle ne l'était au début ; avec un couple acier-cuivre, on obtient une diminution continue.

Décharges dans les gaz raréfiés (1). — La présence d'un champ magnétique modifie d'une manière très complexe l'aspect des phénomènes lumineux produits dans les tubes à vide par les décharges électriques ; il semble pourtant qu'on puisse rapporter ces modifications à deux genres : d'une part, des actions électromagnétiques sur les charges électriques en mouvement, auxquelles se rattacherait par exemple la déviation des rayons cathodiques ; d'autre part, des changements dans le mouvement des molécules du gaz, électrisées ou non, produisant les variations de résistance souvent observées et les variations dans l'aspect et dans le spectre des phénomènes lumineux.

Modifications dans la nature des radiations émises par les sources lumineuses. — Nous rappellerons seulement ici, sans y insister, la découverte de Zeeman (2) et les travaux qui l'ont suivie, dont l'intérêt augmente tous les jours.

Ch. Maurain,
Maître de conférences à la Faculté des sciences de Rennes.

LES LAMPES A INCANDESCENCE (3)

M. Hiram Maxim a récemment apporté aux pompes à faire le vide dans les ampoules pour lampes à incandescence, tubes de Crookes, etc., quelques perfectionnements permettant de faire le vide plus vite et au delà du millionième d'atmosphère, que l'on considère comme la limite du vide des pompes de Sprengel. L'ensemble de l'appareil Maxim comprend une pompe à mercure auxiliaire de Sprengel, une pompe à vide mécanique et un élévateur de mercure pour retourner le mercure de la pompe au réservoir.

La pompe auxiliaire est représentée par les figures 1 et 2. Son réservoir à mercure A est relié par un joint au mercure a. a_5 à l'ampoule a_1, avec manomètre a_4, et portant, en a_3, suspendu au crochet a_2, un desséchant a_3, constitué par exemple par de l'acide phosphorique anhydre. Il communique avec le réservoir principal de mercure par le tube a_6, avec ajutage a_9, par où le mercure tombe sur la plaque a_{10}, où il s'étale en abandonnant son air ; le tube a_8 communique avec la pompe à vide mécanique, et le tube a_7 amène, du réservoir principal, un courant de mercure, dont l'écoulement par a_{11} détermine un vide élevé dans A.

(1) Nous laisserons de côté ici les indications bibliographiques se rapportant aux travaux récents sur les rayons cathodiques.) Plucker, *Pogg. Ann.*, t. CIII, p. 888, 1888. — Hittorf, *Pogg. Ann.*, t. CXXXVI, p. 213, 1869. — De la Rive, *Archives des Sc. phys. et nat. de Genève*, t. XII, 1549. — Spottiswoode, *Phil. Trans.*, t. II, p. 205, 1879. — Crookes, *id.*, p. 657. — Goldstein, *Wied. Ann.*, t. XII, p. 281, 1881. — Lamprecht, *J. de Ph.* (2), t. VII, p. 89, 1888. — J.-J. Thomson, *Recent Researches*, p. 105 et 131. — Melani, *Nuovo Cimento* (4), t. V, mai 1897. — Preston, *Phil. Mag.* (5), t. XLV, p. 334, 1898. — Van Aubel, *J. de Ph.* (3), t. VII, juillet 1898 et *Éclairage Él.*, t. XVI, p. 432, 1898. — Mastracchi, *Nuovo Cimento*, t. VII, p. 277 ; *Écl. Él.*, t. XIX, p. 514, 1899.

(2) Zeeman, *Acad. des Sciences d'Amsterdam*, 31 octobre 1896. — Voir : A. Cotton, *Le phénomène de Zeeman*, *Scientia*, série Physico-Mathématique, Carré et Naud, Paris, 1899.

(3) *L'Éclairage Électrique*, 3 juin 1899, p. 321.

Digitized by Google

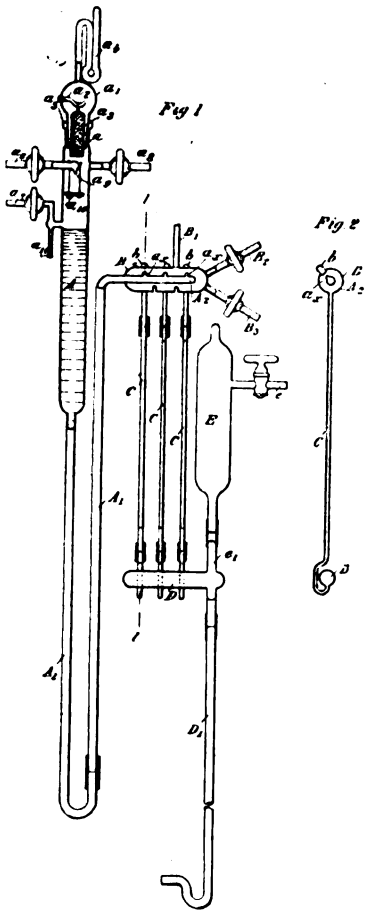


Fig. 1 et 2. — Pompe auxiliaire Maxim (1898).

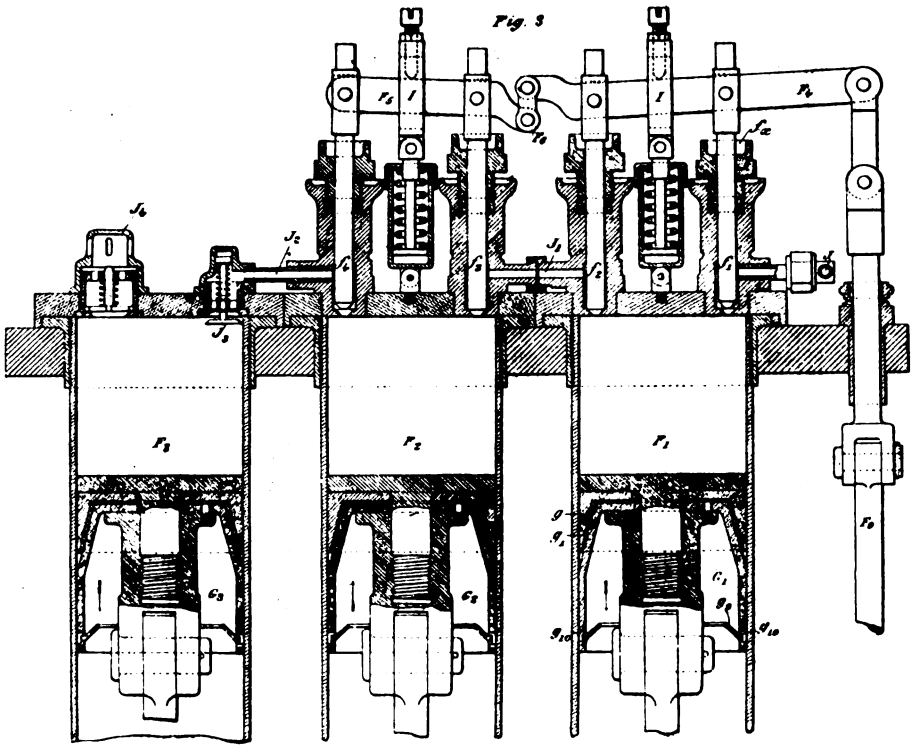
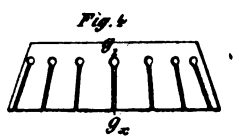


Fig. 3. — Pompe mécanique Maxim.

L'extrémité A_2 du tube recourbé A_1 débouche dans le réservoir B par trois ajutages a_x qui projettent leur mercure dans des cupules *b* qui s'y emplissent, puis le laissent tomber dans les tubes CCC en larges gouttes formant des sortes de pistons qui emportent entre eux l'air de la chambre B, mise en communication : par B_1, avec l'ampoule où l'on fait le vide, par B_3 avec un réservoir d'un gaz quelconque à introduire dans l'ampoule, et par B_2 avec la pompe mécanique qui y fait le vide préliminaire. Des tubes C C C, l'air passe par D e_1 à la chambre E, reliée par *e* à la pompe pneumatique, et le mercure par D_1 à l'élévateur.



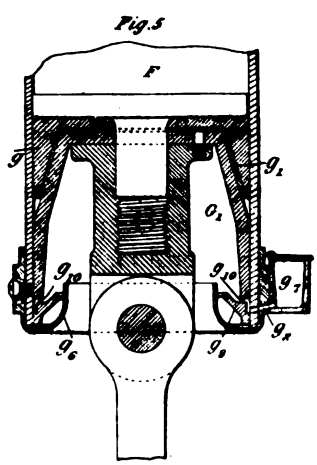


Fig. 4 et 5. — Pompe mécanique Maxim. Détail des pistons.

La pompe mécanique est (fig. 3) à trois cylindres F_1 F_2 F_3, avec pistons G_1 G_2 G_3 commandés par manivelles parallèles pour G_1 et G_3, à 180° de G_2 à G_1 ou G_3. Dans la position figurée, et les pistons marchant dans le sens des flèches, G_1 aspire l'air de la pompe à mercure par J f_1 et G_2 refoule par f_2 J_2 J_3, dans le cylindre F_2, l'air précédemment aspiré de F_1 en F_2 par J_1 f_3; au retour des pistons, la tige F_3, commandée par un excentrique, s'abaisse, ferme par F_4 F_6 F_5 les soupapes f_1 et f_4 et ouvre f_2 et f_3, de sorte que le piston G_1, qui remonte, refoule par f_2 f_3 l'air de F_1 en F_2, sur G_2, qui descend, pendant que G_3 refoule par J_4 l'air de F_3.

Digitized by Google

Les soupapes f_1 f_2 f_3 f_4 sont appuyées, pendant leur fermeture, par les ressorts des étriers I et l'étanchéité de leurs garnitures est garantie par les cupules f_x, pleines de pétrole. Les garnitures des pistons G_1 G_2 G_3 sont constituées (fig. 4 et 5) par des cuirs emboutis g, pressés par les cônes élastiques g_1 et graissées par l'immersion, au bas de courses, de l'anneau g_9 dans le réservoir g_6, rempli par g_8 de l'huile du graisseur g_7, et qui se trouve ensuite distribuée par les ouvertures g_{10} sur les parois du cylindre.

L'élévateur de mercure se compose (fig. 6 à 8) de deux pompes L L, à pistons M, chargés en m_2 d'un manchon m_x, assez lourd pour que les bielles m_{10} soient toujours en tension,

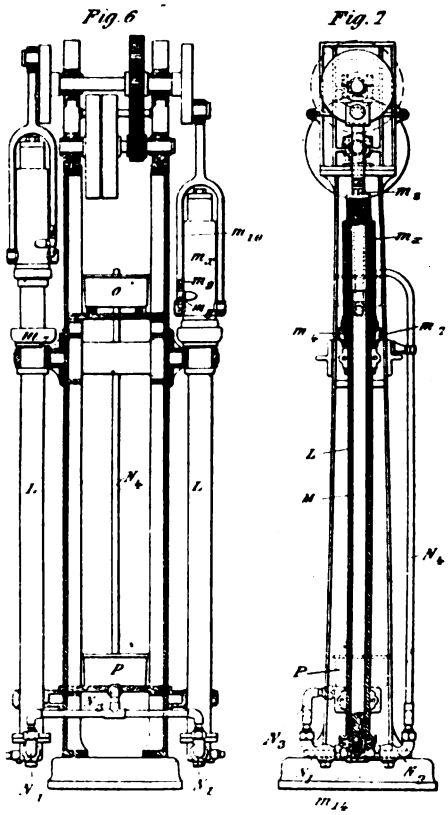


Fig. 6 et 7. — Pompe Maxim. Détail de l'élévateur de mercure.

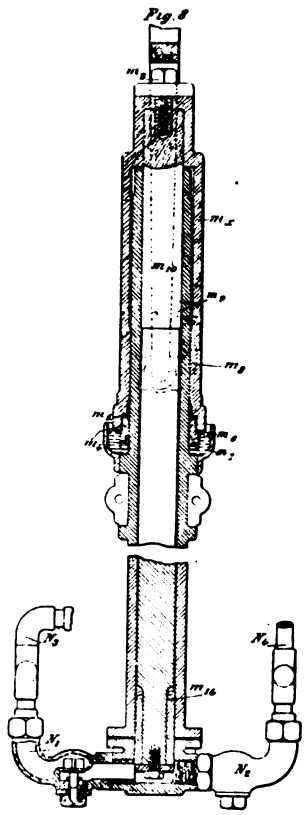


Fig. 8. — Détail d'une pompe.

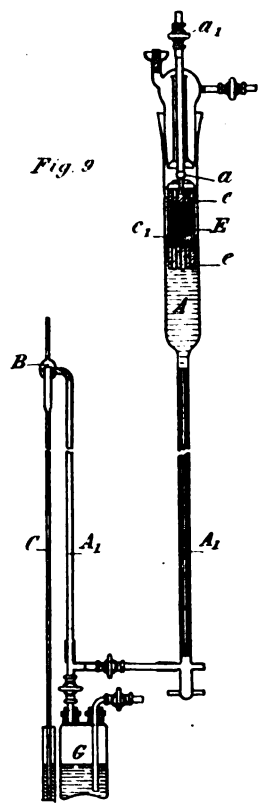


Fig. 9. — Pompe Maxim (variante).

même pendant le refoulement du mercure, aspiré par N_1 N_3 en P et refoulé par N_2 N_4 dans le réservoir O, qui charge la pompe à mercure. Le manchon m_x fait sur L_1 garniture par un cuir embouti m_8 avec tresses m^6 plongeant dans le pétrole m_7 : pendant la descente de m_x, l'air comprimé entre m_x et L empêche le mercure de déborder en m_x, et, vers la fin de cette descente, une soupape m_v, ouverte par un taquet m_9 de la bielle m_8 laisse cet air s'échapper. Le piston m_2, qui joue dans L, n'y est étanche qu'au bas, par la garniture d'acier m_{14}.

Voici comment fonctionne l'appareil; après avoir monté l'ampoule sur la chambre B en B_1 (fig. 1) on fait, par la pompe mécanique, le vide en A, en B et en E, puis, après avoir fermé a_8 et e, on admet par a_6, en A, le mercure du réservoir O (fig. 6) qui passe ainsi, par A_1 en B et dans les capsules b, d'où il retombe dans les tubes C C C, en achevant, comme nous l'avons dit plus haut, de faire le vide en B. Quand on a ainsi atteint un vide suffisant, indiqué par le manomètre a_4, on fait passer un courant dans le filament de l'ampoule, tout

Digitized by Google

en continuant à faire le vide, et les gaz occlus dans le filament sont ainsi évacués par E. Ceci fait, on arrête la pompe à mercure, et l'on admet par B_2 le gaz que l'on veut : de l'acétylène par exemple, dans l'ampoule, gaz que l'on raréfie au degré voulu, après avoir refermé B_3, à la pompe mécanique, puis à la pompe au mercure. Quand on fait passer de nouveau le courant, cette trace d'acétylène se décompose en hydrogène et en carbone qui, à l'état naissant, absorbe l'oxygène qui reste dans l'ampoule et prolonge ainsi la durée du filament.

Dans la pompe représentée par la figure 9, le réservoir A est pourvu d'un flotteur en verre E, à bouchons perforés e, et rempli de mitraille de verre e_1, que le mercure admis par a_1 a traversé en laissant se dégager son air et ses impuretés. Quand le mercure monte trop

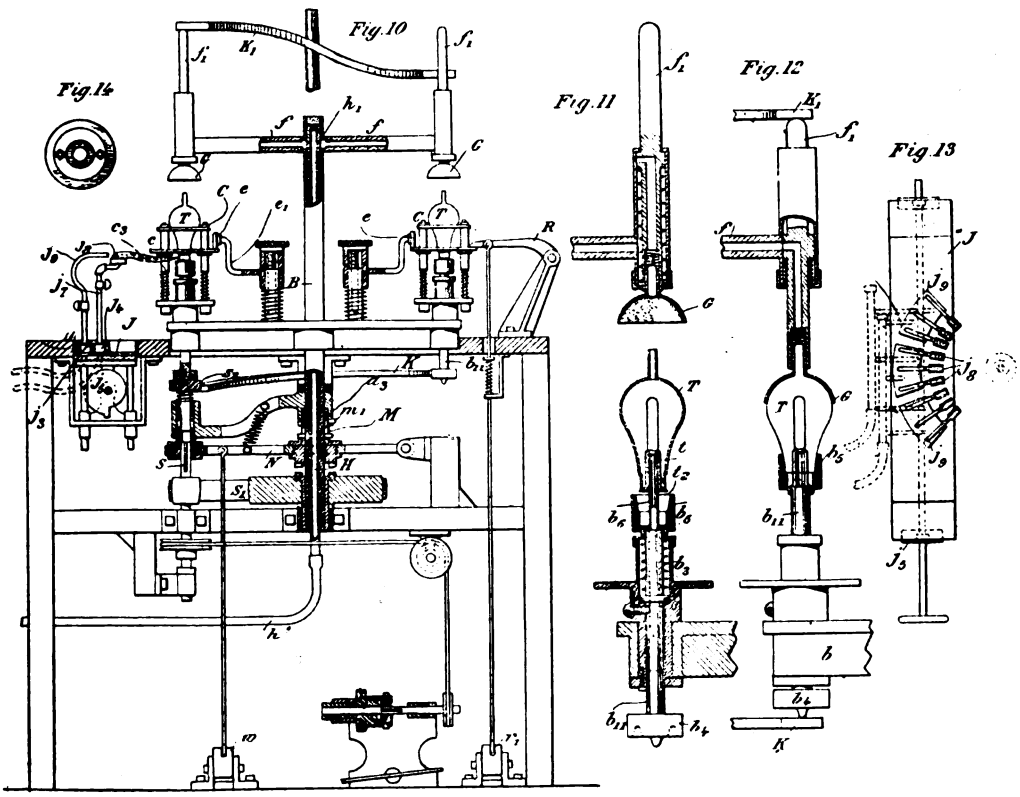


Fig. 10 à 14. — Appareil Swan à fabriquer les lampes (1899).

vite en A, ce flotteur ferme a. De A, le mercure ainsi purifié passe de A_1 A_6 A_1 aux tubes C par le trop-plein de B_1 en grosses gouttes formant pistons comme dans la pompe précédente. Enfin on peut, en fermant a_6 et ouvrant a_7, vider en G le mercure de B sans toucher à celui de A.

M. Swan a récemment proposé pour la fabrication rapide des lampes, l'appareil représenté par les figures 10 et 14, et qui fonctionne comme il suit, les figure 1 et 12 représentant l'appareil avec une lampe finie T sur le bras b de droite et une lampe en train d'être soudée sur le bras de gauche.

Après avoir enlevé la lampe finie, on monte sur l'axe creux b_6 la tige t, avec l'extrémité de ses filaments t_2 en b_3, puis on la recouvre d'un globe soutenu et guidé par le support G; pendant ce temps, la seconde lampe, qui a le patin b_4 (fig. 12) de son support b_{11} embrayé avec l'arbre J_3, tourne devant la flamme de chalumeau C_3. Quand son verre est ainsi porté

Digitized by Google

à la température du soudage, on abaisse, par la pédale u, le levier N, qui débraye J_2 et embraye par M l'arbre B, ce qui lui fait faire un demi-tour, au bout duquel, la pédale u étant lâchée et M débrayé par son ressort, B reste enclanché par la prise du taquet b_1 de M avec l'encoche symétrique de a_2. Pendant ce dernier tour, le pied b_4 du support de gauche monte malgré le ressort b_3 (fig. 11) sur la rampe K, et le support f_1 de sa calotte G descend sur la rampe K_1, de manière que, à la fin de ce dernier tour, G vienne, comme en figure 11, exercer sur la lampe une pression élastique l'assujettissant dans sa monture b_5, en même temps que de l'air comprimé, amené par h, passe par h_1 f à l'intérieur de l'ampoule, dont elle force le verre à épouser exactement la forme des parois de la monture.

Pendant leur chauffe et pendant qu'on les retire, les lampes sont maintenues abaissées par les galets e et le doigt R, manœuvré par la pédale 2_1.

L'air arrive aux chalumeaux j_4 (fig. 10 et 13) par les tuyaux j_6 et le gaz par les tuyaux j_7, montés sur des boîtes j_2 et j_4, à tiroir j, commandé par une canne j_5.

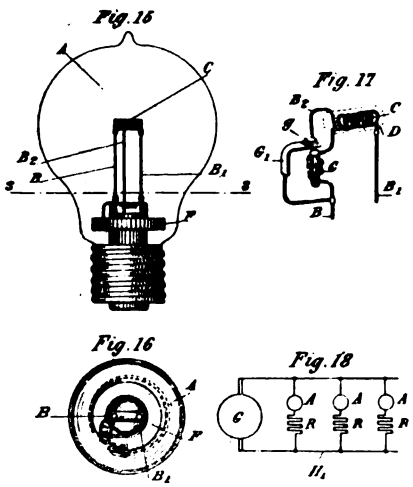


Fig. 15 à 18. — Lampe Rice (1899).

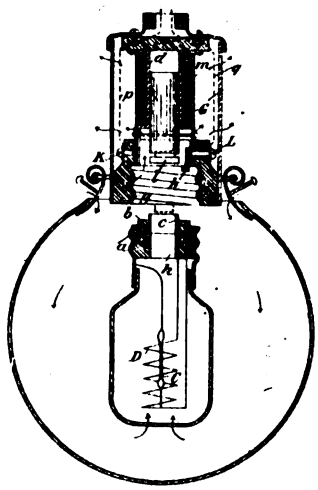


Fig. 19. — Lampe de l'Allgemeine (1898).

La lampe de Rice représentée par les figures 15 et 16 est fondée comme celle de Nernst sur l'emploi, comme corps incandescent, d'une substance qui ne devient conductrice qu'à une température élevée, et que l'on doit, par conséquent, chauffer pour allumer ou amorcer la lampe. Ce corps est constitué par un crayon de magnésie ou de porcelaine C, que le courant traverse suivant B C B, mais seulement après qu'il a été porté à une température convenable par le passage du courant au travers du fil de platine ou de carbone B^2, auquel il arrive par un thermostat bimétallique qui, lorsque C est suffisamment chaud, se dilate et prend la position pointillée, en rompant le circuit de B_2. On obtient le même résultat par un électro G (fig. 17) qui, lorsque le corps incandescent C est suffisamment échauffé, en reçoit un courant assez fort pour lui faire attirer g et rompre le circuit de B_2.

Ainsi qu'on le voit en figure 18, il faut, avec ces lampes A, montées en parallèle sur le circuit de l'alternateur G, intercaler des résistances R pour atténuer les variations du courant dans les crayons C, qui, sans cela, risqueraient de se fondre par l'augmentation trop rapide avec leur température du courant qui les traverse.

M. Hirst emploie comme corps thermo-conducteur des filaments de coton, que l'on immerge dans une dissolution d'un sel de zircone ou de magnésie, et que l'on chauffe gra-

Digitized by Google

duellement par l'électricité pour brûler le coton et ne laisser qu'une gaine de zircone ou de magnésie, que l'on replonge dans la dissolution, et que l'on réchauffe de nouveau jusqu'à ce que le filament ait acquis la solidité et la section voulues. On peut employer avantageusement comme dissolution un mélange de six parties de $ZrAzO^3$ et d'une d'azotate d'yttrium | $Yt.AzO^3$ | et exposer avant le dernier séchage le filament à un courant de gaz ammoniac, qui réduit les oxydes métalliques.

La lampe de l'Allgemeine Elektricitaets Gesellschaft représentée par la figure 19 est fondée sur le même principe général que les précédentes, mais avec des dispositions pratiques très intéressantes notamment pour aspirer sa ventilation.

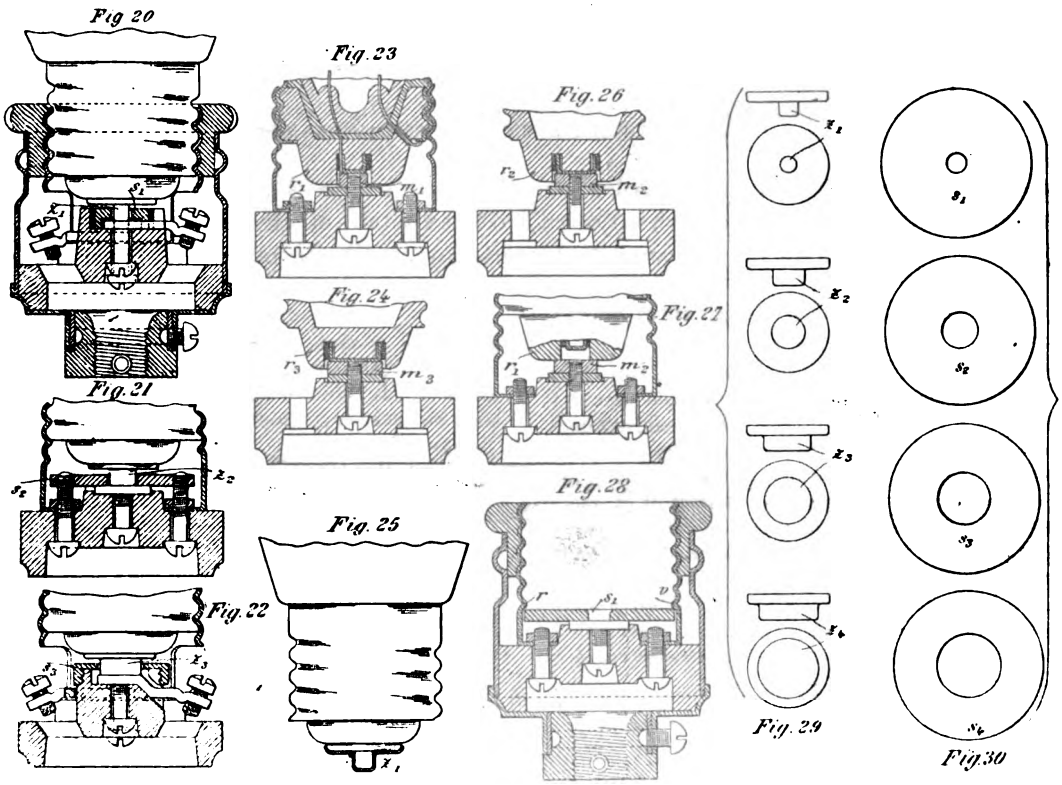


Fig. 20 à 30. — Montures Siemens et Halske (1899).

Quand on visse la lampe H dans son support *b*, l'extrémité *l* de l'armature *m* fait contact avec *c*, et le courant passe d'abord de *q* a *p* par L*hb*, l'enroulement réchauffeur D*elm d* et *k*, puis quand C, suffisamment chauffé, est devenu conducteur, il passe par C*ag*, le solénoïde G, *d* et *k*, de sorte que *ml*, attiré par G, ouvre l'orifice *k*, et qu'il s'établit, suivant les flèches, une ventilation suffisante pour empêcher la formation d'un dépot noir sur H par la volatilisation de C.

Les montures Siemens et Halske, représentées par les figures 20 à 30 ont pour objet de ne permettre d'attacher à un support donné que des lampes d'une puissance correspondante à celle du courant de cette prise. En figures 20 à 22, chaque culot porte un contact z_1, z_2, z_3, d'autant plus gros que la lampe est plus forte, et de diamètre correspondant au trou de la plaque isolante s_1, s_2, s_3 de son support. En figure 20-23, c'est le diamètre des vis d'attache

Digitized by Google

m_1, m_2, m_3 qui varie d'un type à l'autre. En figure 25-27, on voit l'application de ce procédé fort simple aux montures Edison, avec (figure 29) des contacts z_1, z_2, z_3, z_4 de 3, 5, 5,8 et 10, 5 millimètres, pour des lampes des 10, 16, 25, 32 bougies Kefner, et des plaques s_1, s_2, s_3, s_4 correspondantes, avec trous de 3, 5, 6, 8, 8,5 et 11 millimètres.

(A suivre.)

G. RICHARD.

LE DÉVELOPPEMENT DES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ EN 1899 [1]

III. — ÉLECTROCHIMIE ET ÉLECTROMÉTALLURGIE

Dans une récente statistique le professeur Borchers évalue à plus de 750 000 000 fr par an la valeur des produits que livre aujourd'hui l'industrie électrochimique et électrométallurgique, à près de 420 000 chevaux [2] la puissance utilisée pour la fabrication de ces

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* des 20 et 27 janvier, p. 92 et .

[1] Sur ces 420 000 chevaux, plus d'un quart, soit exactement 111 440 chevaux dont 110 140 fournis par des chutes d'eau et 1 300 par des moteurs à vapeur, seraient utilisés en France. Ce chiffre de 111 440 chevaux paraît un peu trop fort, et il semble que pour l'obtenir, M. Borchers ait fait entrer dans son estimation la puissance des usines qui ne sont encore qu'à l'état de projet. D'un rapport de M. Coignet, vice-président de la Chambre de commerce de Lyon, il résulte en effet que la puissance utilisée par l'industrie électrochimique dans le sud-est de la France en 1899 (et toutes les usines électrochimiques importantes sont situées dans cette région), est de 85 400 chevaux ainsi répartis :

Aluminium	13 000 chx.
Carbure de calcium	30 400 »
Carborundum	2 000 »
Chlorate de potassium. . .	14 000 »
Soude et chlore	26 000 »
	85 400 »

Encore M. Coignet semble-t-il avoir pris pour puissance d'une usine, la puissance disponible et non celle qui est véritablement utilisée ; de plus il fait entrer dans son évaluation 4 000 à 5 000 chevaux qui, comme l'indique le tableau suivant, sont utilisés sur le territoire suisse.

	Chx-vapeur.	
Aluminium. — Société électrométallurgique française à La Praz-sur-l'Arc (Maurienne).	10 000	
Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue (Péchiney et Cie) à Saint-Michel-de-Maurienne.	3 000	13 000
A reporter . . .		13 000
Report.		13 000
Carbure de calcium. — Compagnie française des carbures de calcium à Séchilienne sur la Romanche.	1 200	
Usine de carbure, Rochette frères, à Epierre (Maurienne)	1 200	
Société d'électrochimie française, à Saint-Michel-de-Maurienne	2 000	
Société électro-chimique du Giffre, vendue à une société anglaise : Giffre electrochemical and Power Company.	4 000	
Société des carbures métalliques à Notre-Dame-de-Briançon (Tarentaise) :		
Chute de l'eau rousse	2 000	
Chute de Merderel (en construction).	2 000	
La Volta suisse, à l'usine hydraulique de Genève, à Vernier.	2 000	
La Société franco-suisse d'électrochimie, à Vernier.	2 000	
Usine Bertolus, à Bellegarde (Ain), sur le Rhône	2 000	
Usine de la Société électrométallurgique française, à Froges (Isère) . .	1 000	
Société du gaz acétylène, à Saint-Béron	3 000	
Société du Haut-Grésivaudan, à Chapareillan	2 000	24 000
Carborundum. — Compagnie internationale du carborundum à La Bathie (Tarentaise)	2 000	2 000
Chlorate de potassium. — Société des forces motrices et usines de l'Arve (Chedde)	8 000	
Société d'électro-chimie française, à Saint-Michel-de-Maurienne	6 000	14 000
Soude et chlore.—Société des soudières		
A reporter . . .		53 000

Digitized by Google

produits et à 732 000 000 fr le capital dépensé pour la construction et l'installation des usines. Si l'on songe qu'en 1890 la seule application chimique de l'énergie électrique, l'affinage du cuivre, n'utilisait guère qu'une puissance de 2 000 chevaux, on voit que le développement de l'électrochimie et de l'électrométallurgie a été beaucoup plus rapide que celui de la plupart des autres applications de l'électricité et qu'il est à prévoir qu'après avoir révolutionné nos modes d'éclairage et de traction, l'électricité s'installera en maîtresse dans le domaine réservé jusqu'ici à la chimie et à la métallurgie.

Quelle part doit être faite à l'année 1899 pour l'extension si rapide de l'industrie électrochimique et électrométallurgique ? C'est ce qu'il serait fort difficile de dire. Les renseignements sur cette industrie n'abondent pas ; plus que toute autre elle cache ses procédés, et les seuls indices que nous puissions avoir sur la valeur pratique d'un procédé sont les extensions que prennent les usines où il est appliqué et les taux des dividendes distribués annuellement par les sociétés qui l'exploitent. Mais l'un et l'autre de ces indices sont bien aléatoires. Le plus souvent on indique comme puissance dépensée par l'exploitation du procédé, la puissance *utilisable* de la chute d'eau qui actionne l'usine au lieu d'indiquer la puissance réellement *utilisée ;* dès lors les extensions que prend l'usine passent inaperçues. D'autre part le succès financier d'une entreprise ne peut être constaté qu'après quelques années d'exploitation pendant lesquelles le procédé reçoit des perfectionnements et des modifications qui souvent en font un procédé différent du procédé primitif connu par les brevets. Dans ces conditions il est donc impossible d'attribuer à une année plutôt qu'à une autre le développement constaté dans telle industrie électrochimique.

Toutefois si l'on considère l'ensemble de l'industrie électrochimique et si l'on compare son état actuel à celui où elle se trouvait il y a quelques années on peut affirmer que c'est à la fabrication du carbure de calcium qu'est dû le développement considérable qu'elle a aujourd'hui. Non seulement les usines électrochimiques déjà existantes, et où l'on fabriquait de l'aluminium ou des chlorates, comme celles de Saint-Michel de Maurienne, de Froges, de Neuhausen, de Vallorbes, de Bitterfeld ont trouvé dans la fabrication du carbure un emploi très rémunérateur de leur puissance disponible, mais encore de nombreuses usines ont été construites ou sont en voie de construction spécialement dans le but de la fabrication du carbure. Déjà à la fin de l'année 1898 il n'y avait pas moins, d'après M. Kershaw, de 51 usines à carbure en exploitation ou en construction et pendant l'année qui vient de s'écouler ce nombre s'est augmenté de 42 (1) ; le développement de cette branche de l'industrie électrochimique est donc des plus rapides. Il semble même qu'il soit trop rapide car l'augmentation de la production du carbure aura nécessairement pour conséquence un avilissement du prix de vente qui pourra rendre impossible la rémunération équitable du

Report		53 000
électrolytiqnes, à Livet et Gavet, sur la Romanche	5 000	
La Volta suisse, à Chèvres	1 000	
La Volta, société lyonnaise de l'industrie électro-chimique, à Montgirod, près Moutiers, sur l'Isère, en construction.	12 000	
La compagnie générale d'électro-chimie (Fives-Lille) à Bozel (Savoie) (en construction)	8 000	26 000
		85 400

(1) Dans diverses notes publiées dans le *Supplément* de ce journal (particulièrement t. XVII, p. CXXI, 24 décembre 1898, t. XX, p. XIX et XX, 15 juillet 1899) ont été indiqués les noms et situations des usines à carbure construites ou en construction dans le courant de l'année 1899. Ne pouvant donner, faute de place, la liste des 93 usines exploitées ou en projet actuellement, nous nous bornerons à indiquer, d'après un article de M. Kershaw publié récemment dans *The Electrical Review*, de Londres (t. XLIV, p. 31, 5 janvier 1900), la répartition de ces usines :

Usines en exploitation. — France, 21 ; Suisse, 11 ; Autriche-Hongrie, 8 ; Allemagne, 8 ; Italie, 7 ; États-Unis, 6 ; Grande-Bretagne, 4 ; Norvège et Suède, 4 ; Espagne, 2 ; Russie, 2 ; Canada, 2 ; Belgique, 1. Total ; 76.

Usines en construction. — France, 5 ; Suisse, 3 ; Autriche-Hongrie, 3 ; Norvège et Suède, 3 ; Italie, 1 ; Russie, 1 ; Canada, 1. Total : 17.

Digitized by Google

capital engagé. Aussi craint-on qu'après avoir attiré les capitaux vers l'industrie électrochimique en général, au grand profit de celle-ci, la fabrication du carbure ne donne lieu, à brève échéance, à une réaction éloignant les capitalistes des entreprises électrochimiques. A notre avis cette crainte ne nous paraît pas justifiée car, sans méconnaître que la spéculation ait joué un rôle trop important dans ces derniers temps, nous sommes convaincu que, la nécessité aidant, ou bien l'on trouvera au carbure de calcium des débouchés plus considérables que ceux qu'il a actuellement, ou bien l'on trouvera de nouveaux produits électrochimiques permettant d'utiliser la puissance que l'on utilise ou se propose d'utiliser en vue de la fabrication du carbure de calcium. En tout cas le développement de l'industrie électrochimique ne nous paraît pas près de s'arrêter.

Cette opinion se trouve confirmée par l'examen des progrès réalisés dans le domaine particulier de chacune des industries électrochimiques :

Carbure de calcium et acétylène. — Ainsi que les considérations précédentes pouvaient le faire prévoir, le carbure de calcium tient la tête des produits électrochimiques D'après Borchers, en effet, la production du carbure de calcium atteindrait annuellement plus de 256 000 tonnes tandis que la production du chlorure de chaux n'atteindrait que 225 000 tonnes et celle du cuivre électrolytique 166 000 tonnes. En prenant 375 fr pour le prix de vente moyen de la tonne de carbure la valeur totale du carbure fabriqué annuellement dépasse 96 000 000 fr, chiffre qui n'est dépassé que par la valeur du cuivre électrolytique (312 000 000 fr environ) et celle de l'argent retiré des boues provenant du traitement du cuivre (150 000 000 fr environ). Même en admettant que, ainsi que nous le faisons observer plus haut, les évaluations de Borchers soient un peu trop optimistes, ces chiffres montrent de façon indiscutable l'importance de l'industrie du carbure de calcium.

L'adoption de 375 fr pour le prix de vente moyen de la tonne de carbure de calcium indique que malgré l'augmentation considérable de la production, les prix de vente du début (400 à 450 fr la tonne) se sont sensiblement maintenus ; il est donc à croire, à moins d'admettre que les usines productrices ne conservent un stock considérable de produits fabriqués, que les applications du carbure de calcium sont plus importantes qu'on ne se le figure généralement. A ce prix la fabrication du carbure est rémunératrice, car d'après Liebetanz (1) le prix de revient, tous frais compris, de la tonne de carbure serait de 216 fr lorsqu'on utilise une chute d'eau et de 295 fr lorsqu'on se sert de machines à vapeur ; à l'usine de Méran, récemment installée en Autriche-Hongrie, le prix de revient aurait pu être ramené à 186 fr (2).

Pour les raisons indiquées en commençant il est difficile de se prononcer sur la valeur relative des fours employés dans les diverses usines à carbure en cours d'exploitation. Tout ce qu'on peut dire c'est que des efforts sont faits de tous côtés pour la réalisation d'un four à production continue (3), ce qui semble indiquer qu'un bon four de ce genre n'est pas encore connu. D'autre part il semble acquis que l'on obtient d'aussi bons résultats en se servant de courants alternatifs, qu'en se servant de courants continus (4) ; étant donnés les avantages économiques des courants triphasés pour la transmission de l'énergie il est donc probable que l'avenir appartient à ces courants dans la fabrication du carbure. Quant

(1) F. Liebétanz. Prix de revient de la tonne de carbure de calcium avec les différentes sources d'énergie. *Écl. Élect.*, t. XX, p. 408, 30 septembre 1899.

(2) Keller. L'usine à carbure de calcium de Méran. *Écl. Élect.*, t. XIX, p. 172, 6 mai 1899.

(3) Richard. Les fours électriques. *Écl. Élect.*, t. XVIII, p. 15, 7 janvier 1899.

(4) *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 111 et p. 496, 21 octobre et 30 décembre 1899.

Digitized by Google

à l'influence du choix des matières premières sur la valeur du rendement en carbure de calcium elle paraît évidente, mais jusqu'ici on n'a pas de données certaines sur l'influence particulière de la nature des impuretés des matières premières, ni de l'influence de leur pourcentage. Des recherches faites sur l'influence de l'état physique des matières premières paraissent indiquer qu'il y a avantage à prendre la chaux et le charbon en menus fragments et non en poudre comme on le fait le plus généralement (1).

Si nous passons aux applications du carbure de calcium nous n'avons toujours à citer que la préparation de l'acétylène pour l'éclairage. Cette application va d'ailleurs chaque jour grandissant (2). Dans diverses villes du sud-est de l'Europe (3) et à Niagara Falls (4) on utilise l'acétylène pour l'éclairage public ; dans nos contrées l'éclairage à l'acétylène est encore restreint aux habitations isolées, aux chantiers de construction, aux wagons de chemin de fer (5), mais son extension s'effectue d'une façon continue qui fait bien augurer de l'avenir de ce mode d'éclairage.

Alcalis et chlore. — Par son rapide développement l'industrie des alcalis et du chlore électrolytiques vient immédiatement après l'industrie du carbure de calcium et même avant elle si l'on ne considère que le poids de matières produites et non leur valeur. Suivant Borchers la production de soude caustique ou carbonatée par électrolyse s'élèverait à 82 000 tonnes, celle de la potasse à 17 000 tonnes et celle du chlorure de chaux fabriqué avec du chlore électrolytique à 225 000 tonnes ; la valeur de ces produits serait de 15 700 000 fr pour la soude, de 8 000 000 fr pour la potasse et de 28 000 000 fr pour le chlorure de chaux, soit, au total, près de 52 000 000 fr.

Aucun procédé véritablement nouveau n'a été imaginé dans le cours de l'an dernier, bien que d'assez nombreux brevets de perfectionnements aient été pris. Par contre, les procédés ayant déjà fait leurs preuves se sont développés d'une manière caractéristique.

Le procédé Hargreaves-Bird, en essai depuis trois ou quatre ans par la General Electrolytic Parent C°, va être mis en exploitation cette année à Middlewich (Angleterre) par une société formée spécialement dans ce but, la Electrolytic Alkali C°, au capital de 12 500 000 fr, qui a acheté les brevets anglais pour 25 000 000 fr ; la puissance de l'usine projetée sera de 3 500 chevaux fournis par moteurs thermiques. Il est également sur le point d'être employé en France par la Société chimique de Saint-Gobain, qui, à la suite d'essais effectués à Chauny, a acheté la licence des brevets français.

Le procédé Richardson et Holland continue à être utilisé à Saint-Helens par la Electro Chemical C°.

Le procédé Rhodin, expérimenté en Angleterre par la Commercial Development Corporation, va être mis en exploitation en Amérique, à Sault Sainte-Marie, par la American Alkali C° qui a acheté la licence des brevets américains pour le prix très élevé de 2 540 000 fr.

Le procédé Castner Kellner, exploité à Weston-Point (Angleterre) depuis 1896, par la Castner Kellner Alkali C°, et à Niagara, depuis 1898, par la Mathieson Alkali C° va être appliqué en Allemagne (à Osternienberg), en Belgique et en Russie par la Deutsche Solvay Werke qui a acquis la licence des brevets pour l'Europe.

Le procédé à diaphragme employé depuis plusieurs années dans les usines allemandes de Griesheim (près de Francfort) et de Bitterfeld, prend une extension extraordinaire par

(1) B. Carlson. Influence de la pulvérisation des matières premières sur la production du carbure de calcium, t. XXII, page 111, 20 janvier 1900.

(2) Voir *Écl. Élect.*, t. XVIII, p. v ; t. XIX, p. lii ; t. XX, p. xli ; t. XXI, p. xxx ; 1899.

(3) Voir *Écl. Élect.*, t. XXI, p. xxxiii et xl ; 1899.

(4) Voir *Écl. Élect.*, t. XXII, p. xii.

(5) Voir *Écl. Élect.*, t. XVIII, p. xci ; et particulièrement le compte rendu de la récente conférence de M. Janet à la Société d'encouragement, p. 197, 8 février 1900.

Digitized by Google

suite de la fusion des deux sociétés qui l'exploitaient et de la formation de nombreuses sociétés filiales en Norvège, en Russie, en Espagne et en France.

Le procédé Hulin continue à être employé avec succès en France par la Société des soudières électrolytiques à Livet et Gavet.

Il en est de même du procédé Kellner, appliqué à Hallein, en Autriche, par le Consortium Elektrochemischer Industrien.

Par contre deux procédés ont cessé d'être employés pendant l'année 1899; ce sont le procédé Le Sueur et le procédé Greenwood. Le premier était appliqué depuis 1893 à Rumford (États-Unis); à la suite de la baisse considérable des prix des produits chimiques qui s'est produite cette année aux États-Unis, l'usine a été fermée. Le second était employé, mais sur une petite échelle, à Winsford (Angleterre).

Chlorates alcalins. — La fabrication des chlorates alcalins par voie électrolytique, qui jusqu'à ces dernières années ne s'effectuait que dans les usines françaises de Saint-Michel de Maurienne et de Chedde ainsi que dans l'usine de Vallorbes, située sur la frontière suisse, s'étend maintenant dans diverses contrées.

Aux États-Unis une usine de chlorate utilisant le procédé Blumenberg a été fondée en 1897 à Niagara Falls; l'année suivante une nouvelle usine était érigée au même endroit pour l'exploitation du procédé Francho et Gibbs; enfin l'an dernier on fondait à Bay-City une usine d'une puissance de 1 500 chevaux où est employé le procédé Hurter. En Allemagne, les usines de Bitterfeld et de Rheinfelden fabriquent aujourd'hui du chlorate de potassium. En Suède se trouve l'usine de Mansbœ.

D'après M. Kershaw la quantité de chlorate de potassium fabriquée dans ces neuf usines est de 6 000 tonnes environ (d'après Borchers ce serait 11 000 tonnes), soit à peu près les deux tiers de la production totale de chlorate. La puissance dont disposent ces usines (plus de 33 000 chevaux) est d'ailleurs plus que suffisante pour satisfaire à toute la consommation du monde entier : néanmoins de nouvelles usines sont en projet en France, en Suisse et en Norvège (1).

Hypochlorites. — L'emploi des hypochlorites électrolytiques pour le blanchiement des tissus de coton et des pâtes à papier a pris dans ces derniers temps une extension considérable en France (procédé Corbin) (2), en Allemagne (procédé Kellner (3) et procédé Vogelsand) et en Russie (procédé Stéfanow).

Par contre leur application à la désinfection n'a pris aucun développement. Toutefois, à ce point de vue, il convient de citer l'usine qui a été installée à la Havane (4) et qui fonctionne depuis juillet de l'an dernier pour la désinfection des eaux d'égout par l'eau de mer électrolysée (5).

(1) Voir pour les recherches sur la préparation électrolytique des chlorates, *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 437 et 519, 18 mars et 1er avril 1899.

(2) Voir *Écl. Élect.*, t. XX, p. 197, 5 août 1899.

(3) Voir *Écl. Élect.*, t. XX, p. 80, 15 juillet 1899.

(4) Voir ce numéro, p. LXXII.

(5) Dans son numéro du 20 janvier dernier, *The Chemical Trade Journal*, publiait sur les Sociétés fondées pour l'électrolyse des chlorures alcalins en vue de la fabrication des alcalis, du chlore, des chlorates et des hypochlorites les renseignements très circonstanciés qui suivent :

France. — La Société d'électrochimie a été fondée vers l'année 1890 et emploie le procédé Gall et Montlaur pour la production des chlorates à Saint-Michel en Savoie. La puissance utilisée est de 4 000 chevaux fournie par la rivière l'Arc. Les résultats obtenus sont très satisfaisants; les dividendes distribués en 1895 et 1896 ont été respectivement de 9 et 8 p. 100, ils ont diminué depuis par suite de la baisse du prix de vente du chlorate. Cette compagnie exploite le même procédé à Vallorbes, en Suisse (voir plus loin).

La Société des forces motrices de l'Arve emploie le procédé Corbin pour la production des hypochlorites à Lancey (Isère) et le procédé Corbin pour la production des chlorates à Chedde (Haute-Savoie). La puissance de cette dernière usine, fournie par la rivière l'Arve, est de

Digitized by Google

12 000 chevaux. Cette usine a été mise en exploitation en 1897 et les résultats sont dits être satisfaisants. Aucun renseignement n'a pu être obtenu relativement à la puissance utilisée pour la production des hypochlorites à Lancey.

La Saint-Gobain Chemical C°, une des plus anciennes compagnies de produits chimiques en France, a fait en 1897 et 98 de nombreux essais à son usine de Chauny près Paris du procédé Hargreaves-Bird. A la suite de ces essais, elle a acheté les brevets français de ce procédé et se propose d'exploiter celui-ci sur une grande échelle.

La Société des soudières électrolytiques, formée en 1897 au capital de 3 000 000 fr emploie le procédé Hulin pour la production des alcalis et du chlore à Clavaux près Grenoble. La puissance utilisée fournie par la Romanche est de 5 000 chevaux. L'exploitation a commencé en 1898 ; elle a donné de bons résultats.

La Société industrielle des produits chimiques, société filiale de la Electron C° de Francfort (voir plus loin) emploie depuis le commencement de 1878, le procédé de cette dernière compagnie pour la production des alcalis et du chlore ; l'usine située à Lamotte (Oise) utilise 1 500 chevaux fournis par des turbines. Par suite de la fusion récente de la Electron C° et de la Bitterfeld C°, la Société industrielle des produits chimiques doit être absorbée par une nouvelle compagnie, la Compagnie générale d'électrochimie.

La Compagnie des produits chimiques d'Alais a acheté moyennant 160 000 francs, l'ancienne usine d'aluminium de Saint-Michel (Savoie) et emploie la puissance hydraulique disponible de cette usine à la fabrication de produits électrochimiques. Aucun renseignement n'a encore été publié sur les nouvelles installations.

La Compagnie générale d'électrochimie a été fondée par la Electron C° et la Bitterfeld C° au capital de 4 000 000 pour la manufacture des produits électrochimiques au moyen des procédés que possèdent les deux sociétés allemandes. Une chute de 3 000 chevaux située en Savoie doit être utilisée par cette compagnie.

La Société électrochimique du Giffre a été formée au capital de 1 000 000 fr pour l'utilisation de la chute de Mieussy.

La Compagnie de Bitterfeld à Moutiers (Savoie) a construit une usine pour une sous-compagnie française dont le nom ne nous est pas connu.

ALLEMAGNE. — Die Chemische Fabrik Elektron Actien Gesellschaft, formée en 1889 et dont le capital actuel est de 12 500 000 francs, fabrique des alcalis et du chlore à Griesheim près de Francfort depuis 1890 et à Bitterfeld en Saxe depuis 1893. Les résultats d'exploitation de ces deux usines ont été des plus satisfaisants et les procédés qui y sont utilisés se sont répandus dans plusieurs autres contrées. En 1897, alors que le capital n'était que de 5 000 000 francs, les bénéfices nets de cette compagnie furent de 575 000 francs et la réserve était de 975 000 francs. La puissance utilisée (vapeur) dans ces deux usines s'élève maintenant à 4000 chevaux.

Die Elektrochemische Werke Bitterfeld a été fondée en 1893 au capital de 3 750 000 francs pour la production électrolytique des alcalis et du chlore. Elle exploite un procédé à diaphragme à Bitterfeld (2 500 chevaux-vapeur) depuis 1894 et à Rheinfelden (3 000 chevaux-eau) depuis 1898. L'exploitation a été très fructueuse et des compagnies filiales sont ou doivent être fondées pour des établissements d'usines semblables en France, en Pologne, en Norvège, en Autriche.

Depuis la fin de l'année 1898, les compagnies précédentes se sont fondues. Les usines construites ou en construction avant cet arrangement en Russie, en France et en Espagne par ces deux compagnies ne furent pas comprises dans la fusion. La Allegemeine Elektricitäts Gesellschaft de Berlin a de grands intérêts financiers dans la nouvelle société. D'après le rapport de la dernière assemblée générale, on prévoyait l'emploi d'une somme de 4 500 000 francs pour l'extension des usines de Bitterfeld et de Rheinfelden.

Die Chemische Fabrik Buckau a employé le procédé Wiernick pour la production des alcalis et du chlore à Ammendorff. Mais les résultats n'ont pas été satisfaisants et la société a cessé d'exploiter ce procédé.

Die Badische Soda und Anilin Fabrik emploie les procédés de la Compagnie Electron à Ludwigsghafen.

Die Konsolidierten Alcali Werken emploient également des procédés de la Compagnie Electron à Westeregeln.

Die deutsche Solvay Werke ont obtenu la licence des brevets Castner-Kellner pour l'Europe. Ils ont construit une usine, semblable à celle de Weston-Point, à Osternienberg, où est utilisée une puissance de 1 000 chevaux pour la production de la soude et des alcalis. Des compagnies filiales doivent être fondées pour l'érection de semblables usines en Belgique et en Russie.

Die Vereinigte Chemische Fabrik a fait à Leopoldschall des essais industriels avec l'électrolyseur Spilker et Lowe. Ces essais n'ont pas donné de résultats satisfaisants et le procédé a été abandonné.

La production électrolytique des hypochlorites pour le blanchiment est utilisée dans un grand nombre de manufactures allemandes de laine et de coton ; les électrolyseurs employés sont ceux de Kellner et de Vogelsang.

ETATS-UNIS. — The Electrochemical C° a employé le procédé Le Sueur pour la production des alcalis et du chlore depuis 1893 à Rumford où elle disposait d'une puissance hydraulique de 1 000 chevaux. Le procédé Le Sueur qui emploie un diaphragme ne paraît pas économique et depuis la baisse des prix des produits chimiques en Amérique, l'usine de Rumford a cessé son exploitation.

The Chemical Construction C° emploie depuis 1896 le procédé Blümenberg pour la production des chlorates à Niagara Falls avec une puissance de 500 chevaux. Les difficultés rencontrées au début ont été surmontées et l'on dit que le procédé marche maintenant d'une façon satisfaisante.

The National Electrolytic C° emploie le procédé Francho et Gibbs pour la production du chlorate de potasse à Niagara Falls depuis juillet 1898 ; les résultats sont très satisfaisants et à deux reprises l'usine a été agrandie, la puissance employée en dernier lieu était de 1100 chevaux.

The Mathieson Alkali C° utilise une puissance de 2 000 chevaux à Niagara Falls depuis 1877 pour la production des alcalis et du chlore par le procédé Castner-

****

Digitized by Google

Kellner ; elle paie une redevance annuelle de 100 000 fr. à la Aluminium Company de Oldbury, propriétaire des brevets américains du procédé Caster Kellner. L'usine de Niagara doit être agrandie.

S.-D. Warren and C° emploie le procédé à diaphragme Carmichael pour la production des alcalis et du chlore à Cumberland Paper Mills, Michigan.

The North American Chemical C° a été fondée en 1897 au capital de 3 125 000 francs en vue d'exploiter le procédé Hurter pour la production du chlorate de potassium à Bay-City, Michigan. L'usine commença son exploitation en 1898 avec une puissance de 1 500 chevaux (vapeur). On dit que le procédé marche d'une façon satisfaisante mais comme l'usine a dû fermer l'été dernier à la suite d'une grève, il est prématuré de se prononcer. La United Alkali C° est financièrement intéressée dans cette usine.

The American Alkali C° a été fondée en 1899 au capital de 3 000 000 en vue d'exploiter à Sault-Sainte-Marie le procédé Rhodin pour la production des alcalis et du chlore. La Commercial Development Corporation de Liverpool propriétaire des brevets de ce procédé a reçu 2 700 000 francs pour la cession des brevets américains.

The Electrolytic Chemical C° a été formée en 1899, au capital de 25 000 000 (?) en vue d'exploiter le procédé du professeur Roberts de l'Université d'Illinois pour la production des alcalis et du chlore.

Le procédé de désinfection Woolf a été employé en différents endroits en Amérique avec quelques succès. Il est utilisé actuellement à la Havane.

Grande-Bretagne. — The Electro-Chemical C°, formée en 1894, au capital de 5 000 000 fr., exploite le procédé Richardson et Holland pour la production des alcalis et du chlore à Saint-Helens (Lancashire). Les résultats de l'exploitation ne paraissent pas être très brillants, car depuis l'ouverture de l'usine en 1897, plusieurs arrêts se sont produits et pendant l'année 1899 la partie électrolytique de l'usine a de nouveau été fermée. La puissance utilisée dans cette usine est de 3 000 chevaux fournis par des machines à vapeur.

The Castner-Kellner Alkali C°, fondée en 1895 au capital de 7 500 000 fr. (porté maintenant à 11 250 000 fr.) emploie à Weston-Point, Runcorn, pour la production des alcalis et du chlore, le procédé Castner dans lequel on utilise un amalgame. La puissance de l'usine fournie par des machines à vapeur a été peu à peu accrue et actuellement elle est de 4 000 chevaux. Les résultats de l'exploitation paraissent être satisfaisants et les dividendes distribués s'élèvent à 8 p. 100 du capital.

The General Electrolytic Parent C° emploie à titre d'essai le procédé Hargreaves-Bird à Farnworth, près de Widness, depuis 1895 ; 15 chevaux sont utilisés. L'électrolyseur est caractérisé par une cathode à diaphragme et par l'emploi de la vapeur à la place d'une solution saline dans le compartiment cathodique. Ces essais ont dû donner de bons résultats, car les licences des brevets français et anglais ont été récemment vendues à de puissantes compagnies (voir plus haut).

The Wenlock Electrolytic C° fut fondée en 1898 avec un capital de 3 000 000 fr. dans le but d'ériger une usine à Little Wenlock dans le Shropshire pour la production du chlorate de sodium. Une puissance de 2 000 chevaux fournie par des machines à vapeur devait être utilisée. Aucun détail n'a pu être recueilli ni sur la nature du procédé employé ni sur les résultats obtenus.

The Salt Union fit en 1898 des essais industriels à Winsford sur le procédé perfectionné Greenwood pour la production des alcalis et du chlore ; les résultats des essais n'ont pas été satisfaisants et les expériences ont été abandonnées.

The Electrolytic Alcali C° a été fondée en 1899 au capital de 12 500 000 fr. pour exploiter le procédé Hargreaves-Bird à Middlewich, in Cheshire. L'usine actuellement en construction, utilisera une puissance de 3 500 chevaux (vapeur ou gaz) et contiendra environ 250 bacs d'électrolyse.

Les différents procédés pour produire des solutions électrolytiques pour le blanchiment direct de la laine et des textiles, n'ont pas encore reçu d'applications en Grande-Bretagne. Le procédé Hermite pour la désinfection au moyen de l'eau de mer électrolysée a été essayé à Ipswich, Netley Hospital et Lytham, mais les résultats obtenus ne l'ont pas conduit à son extension dans ce pays.

Suisse. — La Société d'électrochimie (voir Franc) emploie le procédé Montlaur pour la fabrication du chlorate de potassium à Valorbes où 3 000 chevaux sont utilisés.

La Société d'électrochimie Volta, fondée en 1897, au capital de 1 000 000 fr, emploie le procédé Outhenin-Chalandres et Cie pour la production des alcalis et du chlore. L'usine située à Chèvres près de Genève est en exploitation depuis la fin de 1898.

La Société des usines de Monthey en Valais emploie une chute de 800 chevaux. A Monthey, aucun renseignement sur le procédé employé n'a pu être obtenu.

N. B. — Une compagnie au capital de 2 000 000 a été formée à Berne pour l'utilisation d'une chute de 6 000 chevaux dans la Via-Mala et pour la construction d'une usine électrochimique près de Thusis. Aucun renseignement n'est donné sur le procédé employé.

Autriche. — Consortium für Elektrochem. Industrien est le nom d'une société fondée en 1896 au capital de 5 000 000 fr, pour l'exploitation des brevets Kellner, à Golling, près de Hallein où 4 500 chevaux hydrauliques sont utilisables. L'usine a été partiellement construite en 1897, mais les travaux durent être arrêtées par suite de difficultés rencontrées dans le paiement des actions non libérées. En 1898, des arrangements financiers portèrent le capital à 7 500 000 fr. Les chlorures décolorants, la soude caustique et les chlorates doivent être fabriqués par l'usine dès qu'elle sera construite.

The Kellner Partington Paper Pulp C° emploie à Hallein le procédé Kellner pour le blanchiment de la pulpe de bois ; 28 tonnes de pulpe sont traitées journellement. En 1896, cette compagnie a payé 6 p. 100 de dividendes.

Russie. — Die Elektrochemische Werke Bitterfeld on construit une usine à Zombkowitz pour l'application de leurs procédés. Une puissance de 1 200 chevaux (vapeur) est utilisée ; l'usine est en exploitation depuis la fin de 1898.

La Ljubinow Solvay et Cie qui possède la plus grande usine de soude à l'ammoniac en Russie s'est arrangée

Digitized by Google

Ozone. — L'ozone a fait beaucoup parler de lui cette année comme agent de stérilisation. Les essais entrepris à Lille par MM. Marmier et Abraham (1) ont montré que l'ozone peut assurer la stérilisation complète des eaux d'alimentation ne contenant qu'un nombre assez faible de microbes, mais, comme le faisaient remarquer M. Blondin dans l'article qu'il a consacré à ces essais, et plusieurs membres de la Société des ingénieurs civils dans la discussion (2) qui a suivi une communication de M. Marius Otto sur l'ozone, le rapport auquel ont donné lieu ces essais ne nous apprend rien sur le prix de revient du procédé. De plus il est encore permis de se demander si l'ozonation permettrait de stériliser pratiquement les grandes quantités d'eau nécessaires à l'alimentation de villes importantes,

Des essais du même genre ont été effectués ou sont en cours d'exécution à Blankenberg, en Belgique, à Oudshorn, en Hollande, et à Charlottenbourg, en Allemagne (3). Aux États-Unis, des essais ont sans doute été jugés inutiles, car une société, la Electric Refining and Purifying Company, a été formée récemment, au capital de 5 200 000 fr pour la purification par l'ozone de l'eau d'alimentation de Philadelphie.

Signalons également dans le même ordre d'idées les recherches qu'effectue M. Andréoli sur des eaux fortement contaminées, recherches signalées par l'auteur dans ce journal il y a quelques mois (4).

Quant aux diverses autres applications que peut recevoir l'ozone, blanchiement, vieillissement des vins et des alcools, etc., elles n'ont été l'objet d'aucune communication cette année.

Pour les procédés de préparation de l'ozone nous n'avons guère à signaler que la communication, non encore publiée, faite par M Marius Otto à la Société des ingénieurs civils et une note de M. Moissan à l'Académie des Sciences (5) faisant connaître une nouvelle méthode de préparation.

Cette méthode consiste à décomposer l'eau par le fluor; l'hydrogène donne avec le fluor de l'acide fluorhydrique qui se dissout et l'oxygène qui se dégage est fortement chargé d'ozone. M. Moissan avait reconnu ce fait dès 1891, en opérant avec de l'eau à la température ordi-

avec les Deutch Solvay Werke pour exploiter le procédé Castner-Kellner dans le district de Jelisavetopol. Une puissance de 1 300 chevaux (vapeur) sera utilisée.

Die Gesellschaft Russki Elektron, au capital de 6 925 000 fr, construit une usine à Slaviansk dans la Russie méridionale pour l'exploitation des procédés de la société de Francfort.

Norvège et Suède. — The Kellner Partington Paper-Pulp C° emploie le procédé de Kellner pour le blanchiment electrolytique de la pâte de bois à Sarpsborg en Norvège. Une puissance hydraulique de 5 000 chevaux est disponible, mais 800 chevaux seulement sont employés jusqu'ici. Une seconde usine construite par la même compagnie sera très probablement en exploitation pendant l'été de 1900.

Die superphosphat aktien Gesellchaft de Stockholm emploie le procédé Carlsen pour le procédé des chlorates à Mansboe en Suède ; elle utilise une puissance hydraulique de 3 000 chevaux et l'exploitation donne de beaux résultats. Les frais de premier établissement des installations hydrauliques et électriques se sont élevés à 2 000 000 fr.

Une compagnie au capital de 2 675 000 fr a été fondée dans le but d'utiliser la chute Ljungan à Olby en Suède pour la fabrication du carbure de calcium et des chlorates. Une puissance de 6 000 chevaux sera employée pour la production de chacun de ces produits.

Belgique. — La compagnie Solvay et C^ie de Bruxelles qui exploite le procédé de fabrication de la soude à l'ammoniac doit construire une usine à Jenappe pour l'exploitation du procédé Castner-Kellner.

Espagne. — Die Chem. Fabrik Elektron Aktien-Gesellschaft de Francfort a construit une usine pour l'exploitation de ses procédés de fabrication des alcalis et du chlore a Flix sur l'Ebre en Espagne. Cette usine doit être depuis peu en exploitation.

Italie. — La Société italienne d'Electrochimie a été formée à Turin par quatre maisons de constructions électriques pour la fabrication du chlore et des alcalis ; son capital est 4 000 000 fr.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 121, 29 juillet 1899.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 394, 9 décembre 1899.

(3) *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 514, 30 décembre 1899.

(4) *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 352, 2 septembre 1899.

(5) *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 571, 16 octobre 1899.

Digitized by Google

naire. Dans ses derniers essais il prenait de l'eau maintenue à la température de 0° et y faisait passer un courant de fluor avec une vitesse correspondant à un débit de 3 litres par heure. Il obtint ainsi de l'oxygène ozoné contenant 5,63, 9,07 ou 14,39 p. 100 d'ozone suivant que la durée de l'expérience était de 5, 10 ou 30 minutes.

Cette formation si facile de l'ozone concentré et exempt des produits nitreux qui l'accompagnent lorsqu'on le prépare par l'action de l'effluve sur l'air atmosphérique pourra peut-être devenir le point de départ de quelques applications, car si la préparation du fluor est délicate elle n'est point coûteuse.

Aluminium. — L'industrie de l'aluminium a largement profité des hauts prix que le cuivre, par suite des spéculations des financiers américains, a atteint pendant ces derniers dix-huit mois; elle est, en effet, parvenue à faire entrer en pratique l'emploi de l'aluminium pour la confection des conducteurs de transmission de l'énergie électrique, les conducteurs en aluminium étant, aux prix actuels de ce métal et du cuivre, moins coûteux que ceux en cuivre pour une même résistance ohmique. On ne peut nier que ce résultat n'ait été obtenu que grâce à un abaissement du prix de vente de l'aluminium qui laisse peu de marge pour les bénéfices, mais il est probable que les fabricants de ce métal ne tarderont pas à tirer profit des sacrifices qu'ils se sont momentanément imposés. Déjà huit compagnies américaines de transmission d'énergie à distance ont adopté des lignes en aluminium et comme ces installations n'ont donné lieu jusqu'ici à aucun inconvénient il y a lieu de croire que les Américains, avec leur esprit d'initiative, ne s'en tiendront pas là.

Une application du même genre, la confection des lignes téléphoniques et télégraphiques, amènera peut-être un débouché important à l'aluminium. Il convient toutefois de rester circonspect dans ses appréciations sur ce sujet, car tandis que les ingénieurs américains paraissent très partisans des lignes téléphoniques et télégraphiques en aluminium, les ingénieurs français ne semblent pas aussi convaincus de leurs avantages (1).

Par contre il est un débouché nouveau qui ne peut manquer de se développer : c'est l'emploi de l'aluminium pour la confection de toutes les pièces métalliques des moteurs et combinateurs d'automobiles électriques qui n'ont pas besoin d'être magnétiques. La substitution de l'aluminium au cuivre et au bronze a permis de réduire dans une proportion assez notable le poids de l'équipement électrique de ces voitures.

Les autres applications de l'aluminium : confection des ustensiles d'équipement des soldats, des bateaux démontables et bateaux de course, des roues de bicyclettes, et de mille autres petits objets, se développent normalement sans présenter cependant de particularité méritant de fixer l'attention. Il convient toutefois de faire exception pour une application qui a pris ces temps derniers un développement assez rapide en Amérique et en Allemagne : la substitution de l'aluminium en plaques aux pierres lithographiques.

Les applications nouvelles et le développement des applications anciennes de l'aluminium ont dû nécessairement faire progresser la production de ce métal. Mais bien que les fabriques ne soient qu'au nombre de six (Niagara 2, Foyers, Neuhausen, La Praz, Rheinfelden), il est fort difficile de connaître exactement la production annuelle de ces usines. Le professeur Borchers l'estime à 12 000 tonnes environ, tandis que M. Kershaw indique les chiffres de 1 789, 3 394 et 3 958 tonnes pour la production totale de ces usines pendant les années 1896, 1897 et 1898 d'après des renseignements fournis par les compagnies exploitantes.

Quelques travaux théoriques sur les propriétés de l'aluminium ont été publiés; les plus importants sont ceux que M. Ditte et M. Moissan présentaient à l'Académie des sciences au

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 140, 29 janvier 1900.

Digitized by Google

début de l'année ; à signaler aussi quelques recherches sur les propriétés de l'aluminium employé comme cathode dans un bain électrolytique.

Cuivre. — L'affinage électrolytique du cuivre s'effectue aujourd'hui dans 36 usines ainsi réparties : Amérique, 9 ; Allemagne, 6 ; Angleterre, 5 ; Autriche, 3 ; Japon, 2 ; Australie, 1. De plus cinq usines exploitant les procédés Elmore et Dumoulin, sont utilisées à l'électrodéposition du cuivre pour la fabrication de tubes. Enfin une usine installée à Papenburg (Allemagne), traite directement les minerais pour l'obtention du cuivre par le procédé Hoepfner. La quantité de cuivre électrolytique fournie par ces 42 usines peut être évaluée à 200000 tonnes environ, soit la moitié de la production totale du cuivre dans le monde entier.

En mai dernier les diverses compagnies exploitant les procédés Elmore pour la fabrication des tubes de cuivre électrolytique se sont fondues en une seule, la English Electro Metallurgical Company, au capital de 17 500 000 fr, qui a donné une nouvelle impulsion à cette fabrication.

Signalons encore un perfectionnement récent apporté par la Elliot Metal Company, de Birmingham, (qui possède et exploite l'usine d'affinage de Pembrey, Galles du sud), dans son procédé de fabrication de tubes de chaudière : au lieu de les faire en cuivre pur elle les forme d'un alliage de cuivre et d'étain qui présente certains avantages sur le cuivre.

Zinc. — L'électrodépositiou du zinc et l'extraction du zinc de ses minerais par voie électrolytique commencent à prendre une certaine importance.

L'électrodéposition est couramment appliquée aujourd'hui dans la plupart des usines de construction de chaudières à vapeur, car les marines anglaise et française exigent que les tubes de chaudières soient recouverts d'une mince couche de zinc avant d'être présentés aux essais de réception, cette opération permettant de reconnaître plus facilement les défauts des tubes. Toutefois elle ne se répand guère au delà de ce champ d'application et la galvanisation par immersion dans le zinc, bien qu'ayant l'inconvénient de causer une perte considérable de métal et celui, plus grand, de déformer le profil des pièces, est encore employée presque exclusivement.

Le traitement électrolytique des minerais de zinc continue à être l'objet de nombreuses recherches. Le procédé Hœpfner, qui consiste à convertir le minerai en chlorures et à traiter la dissolution aqueuse de ces sels dans un électrolyseur à diaphragme, est employé actuellement à Winnington (Angleterre), à Weidenaau et Hambourg (Allemagne) à Hruschau (Autriche) et doit l'être bientôt dans des usines projetées en Belgique, en France, en Italie et au Canada. Deux autres procédés, celui de Swinburne et celui de Cowper-Coles, sont à l'essai ; on ne peut donc se prononcer encore sur leur valeur. Par contre, un quatrième procédé, celui de Dieffenbach, employé depuis plusieurs années à Duisburg (Allemagne), a cessé d'être exploité.

Il nous resterait, si nous voulions passer en revue toutes les applications de l'électricité à la chimie, à examiner un grand nombre d'autres industries telles que celles du phosphore, de la céruse, des matières colorantes artificielles, des chromates, des peroxydes, etc. Mais outre qu'il est très difficile de se procurer des renseignements exacts sur ces industries leur examen nous entraînerait bien au delà du cadre qui convient à une revue d'ensemble. Ce que nous avons dit suffira largement, croyons-nous, à montrer que si, par nécessité technique, l'électrochimie et l'électrométallurgie font peu parler d'elles, elles n'en constituent pas moins une branche très importante des applications de l'électricité.

J. Reyval.

Digitized by Google

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DISTRIBUTION

Procédé Hélios de distribution simultanée de courant alternatif et de courant continu. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVII, p. 2, 1er octobre 1899.

La distribution par courant alternatif a des avantages économiques quand il s'agit de franchir des distances un peu grandes et offre en outre une régulation facile ; mais ces courants ne peuvent servir pour la charge des accumulateurs ou pour l'électrolyse, et présentent des difficultés pour la mise en marche des moteurs.

L'E. A.-G. Helios emploie un procédé de distribution qui réunit ces deux espèces de courant dans un système à deux ou trois conducteurs et permet de profiter simultanément de leurs avantages. La station centrale envoie du courant alternatif dans le primaire d'un transformateur ; les stations secondaires sont munies de transformateurs à courants alternatifs et de générateurs secondaires de courant continu, tels que des accumulateurs ou des commutatrices.

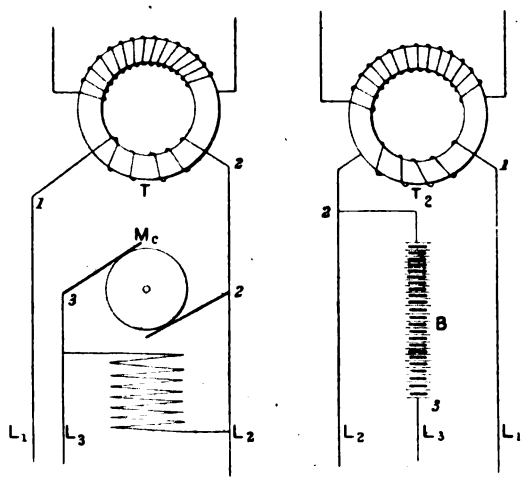


Fig. 1 et 2.

La figure 1 montre la disposition d'un transformateur T et d'un générateur M à courant continu, la figure 2 la disposition d'un transformateur T et d'une batterie d'accumulateurs B. 1 et 2 sont les bornes du transformateur, 3 et 2 celles du générateur à courant continu ; les deux sources d'électricité sont reliées à la borne 2 et le conducteur L_2 sert simultanément pour les deux courants. Entre L et L_2 règne une tension alternative, entre L_3 et L_2 une tension continue et entre L_1 et L_3 une tension ondulatoire périodique qui est la somme des deux autres.

Si l'on réunit L_1 et L_2 par un circuit à self-induction élevée, les ondes du courant s'aplatissent et celui-ci se rapproche d'un courant continu. Si on réunit L_1 L_3 aux bornes opposées d'une batterie, le courant se rapproche davantage d'un courant alternatif. Les circonstances ne sont pas modifiées entre L_1 et L_3 si le conducteur L_2 est supprimé.

Ce système de distribution est particulièrement avantageux lorsqu'il s'agit d'alimenter un réseau de traction électrique. G. G.

Répartition des courants dans les réseaux alternatifs. par **Clarence Feldmann** et **Joseph Herzog**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 780, 9 novembre 1899.

Les auteurs considèrent quelques cas simples avant d'aborder les cas généraux.

I. *Conduction simple sans dérivation.* — Soit un conducteur simple faisant partie d'un réseau. Appelons V_0 et V_1 les tensions aux deux extrémités, J le courant allant dans le sens O1, R la résistance. En considérant ces différentes grandeurs comme des segments, on peut écrire en continu comme en alternatif

$$J = \frac{V_0 - V_1}{R} = (V_0 - V_1)L$$

en désignant par L la conductance. Nous pouvons représenter graphiquement l'intensité par OJ (fig. 1), la perte ohmique de tension par OF, la perte apparente de tension (perte dewattée) par FG la résultante OG sera la perte de tension due à l'impédance. Pour faciliter le langage nous appellerons la tension au point O *tension de départ* et la tension en 1 *tension d'arrivée*. La tension de départ V_0 sera représentée par le vecteur OB faisant un angle φ_0 avec OJ. La somme géométrique de OG et OB donne en OC la tension d'arrivée et en φ_1 le décalage en ce point. Construisons sur BC un *triangle de réseau*

Digitized by Google

ACB égal à OFG, nous pouvons ainsi étudier ce qui se passe quand φ_0 varie, V_0 restant constant en valeur absolue. Alors le point B décrit un

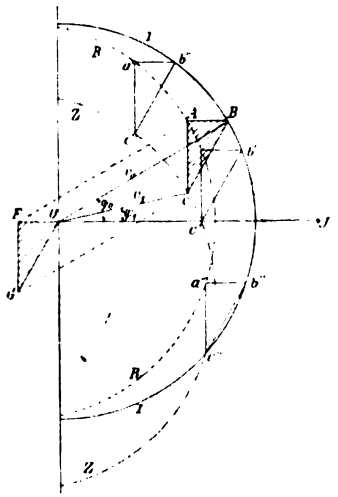


Fig. 1.

cercle I. Si le triangle ABC est soumis au même mouvement, A et C décrivent des cercles égaux R et Z ayant leurs centres en F et G.

Si par exemple, la tension de départ est Ob' la tension d'arrivée est Oa'' pour une ligne non inductive, Oc'' pour une ligne inductive. Pour le point c''' les tensions de départ et d'arrivée sont les mêmes mais décalées de $c'''Ob'''$ par suite d'effets de capacité. Si l'on fait croître l'avance du courant par exemple en surexcitant des moteurs synchrones, on obtient entre I et Z des élévations de tensions.

II. *Conduction simple avec une dérivation.* — Considérons ensuite le cas où les tensions en 1 et 2 sont égales ce qui permet de réunir les deux points 1 et 2 (fig. 2 et 3). Les deux conducteurs peuvent être remplacés par un conducteur unique de résistance R telle que

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{r}{r_1 r_2}$$

$$i = i_1 + i_2 = \frac{V_1 - V_2}{R} = (V_1 - V_0)\frac{r}{r_1 r_2}$$

$$V_1 - V_0 = \frac{i r_1 r_2}{r} = iR$$

La figure 3 nous donne aussi

$$i_1 = i\frac{R}{r_1} = i\frac{r_2}{r}.$$

Les deux formes conviennent également bien à la pratique et montrent l'analogie entre la composition des courants et la composition des forces : les courants continus ou les courants

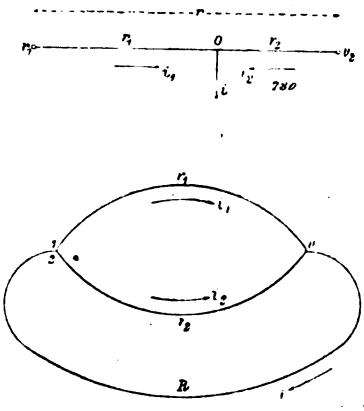


Fig. 2 et 3.

alternatifs sans self-induction correspondant au cas des forces parallèles, les courants alternatifs avec self-induction correspondant aux forces concourantes dans un même plan.

Supposons ensuite les tensions 1 et 2 inégales nous aurons en continu comme en alternatif

$$V_0 = V_1 - i_1 r_1 = V_2 - i_2 r_2$$
$$i = i_1 + i_2$$

d'où

$$i_1 = i\frac{r_2}{r} + \frac{V_1 - V_2}{r}$$

$$i_2 = i\frac{r_1}{r} + \frac{V_2 - V_1}{r}$$

autrement dit le courant qui va d'une des extrémités du conducteur au point de dérivation est égal au courant de la branche dérivée augmenté du courant de ligne pris avec son signe. On arrive au même résultat par la superposition des figures 4 et 5. Si comme daus la figure 5 les deux tensions extrêmes sont également nulles, on a au point de consommation, la tension $\varphi_0 = iR$ qui produit à droite et à gauche les courants respectifs $i\frac{r_1}{r}$ et $i\frac{r_2}{r}$. On peut donc toujours considérer une dérivation comme une source négative. Si on superpose les deux figures 4 et 5, l'une relative aux tensions, l'autre aux courants, on retombe sur la figure 6, traduction des égalités précédentes.

Par superposition nous entendons l'addition

Digitized by Google

géométrique des intensités ainsi que des tensions en un point.

On peut donc considérer la branche dérivée

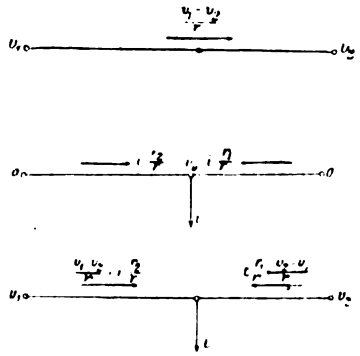


Fig. 4, 5 et 6.

comme divisée en deux parties au point de jonction sans changement dans la répartition des intensités, l'intensité de l'une des deux parties peut d'ailleurs être négative.

III. *Conducteur unique avec plusieurs dérivations.* — Si en un point se trouvent plusieurs dérivations, elles peuvent être remplacées par une dérivation résultante, au point de vue de l'intensité de la branche principale. En alternatif on décomposera les courants en leurs composantes wattées et déwattées et on fera respectivement la somme de ces composantes (fig. 7).

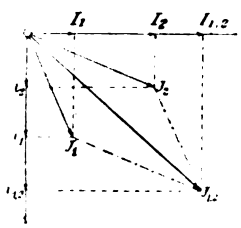


Fig. 7.

O est la trace du conducteur principal sur le plan du papier. J_1 et J_2 sont les traces des plans des dérivations sur le plan du papier. On a représenté suivant deux perpendiculaires les composantes wattées (I) et déwattées (i) des courants dérivés. On peut faire une figure analogue pour les tensions. Cette figure comprend ainsi le cas plus général où les dérivations ne partent pas du même point.

Prenons un exemple simple (fig. 8). Deux dérivations J_1 et J_2 partent des points 1 et 2. Sur le parcours O1 il faut additionner géométriquement les composantes $i_1 + i_2$ avec les composantes $I_1 + I_2$ ce qui se fait en projetant J_2 sur le

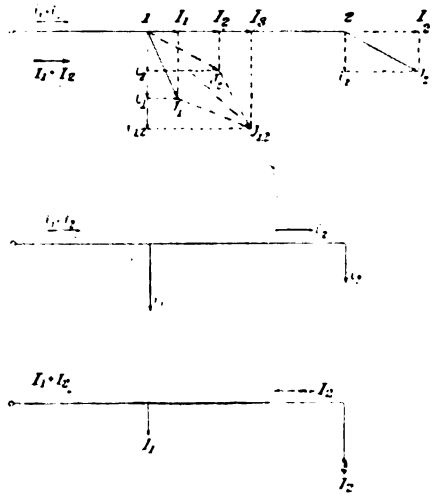


Fig. 8.

plan du courant J_1 et en prenant la résultante J_{12} sur le trajet 1,2 on a un courant $i_1 + I_2 = J_2$. Les chutes de tension doivent être déterminées séparément pour les courants wattés et déwattés et on les superposera de même.

IV. *Cas de plusieurs inducteurs branchés au même point.* — Soient plusieurs conducteurs partant d'un point O (fig. 9). Ce cas se traitera

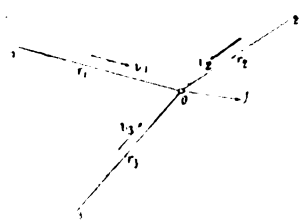


Fig. 9.

de la même façon que celui d'un conducteur unique. Supposons d'abord que toutes les tensions finales $V_1 V_2 V_3$ soient égales. On peut alors réunir les extrémités et on écrira comme précédemment pour le conducteur résultant

$$\frac{1}{R} = \Sigma \frac{1}{r_n} \qquad L = \Sigma l_n$$

$$J = \Sigma i_n = \frac{V_n - V}{R} = (V_n - V_0) L$$

$$i_n = \frac{JR}{r}$$

Digitized by Google

égalités vraies en continu comme en alternatif en considérant les quantités comme des vecteurs.

Considérons ensuite un point de jonction n'ayant aucune dérivation d'utilisation (par exemple un des sommets d'un réseau ayant ses branchements en un autre endroit) (fig. 10).

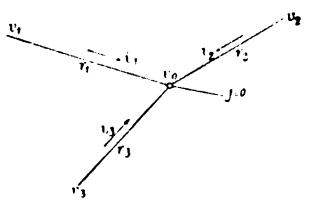


Fig. 10.

La somme des courants aboutissant en ce point doit être nulle, ce qui donne.

$$\Sigma \frac{V_n - V_0}{r_n} = \Sigma (V_n - V_0)\, l_n = 0$$

d'où

$$V_0 = \frac{\Sigma (V_n\, l_n)}{\Sigma l_n} = R\Sigma \frac{V_n}{r_n}$$

Des deux cas particuliers précédents on peut déduire l'égalité générale

$$V_0 = R\Sigma \frac{V_n}{r_n} + RJ.$$

Si on réunit ainsi plusieurs sommets on obtient un réseau.

V. *Exemple numérique.* — Nous éclaircirons la méthode précédente par un exemple numérique simple. Soit le réseau de la figure 11 avec

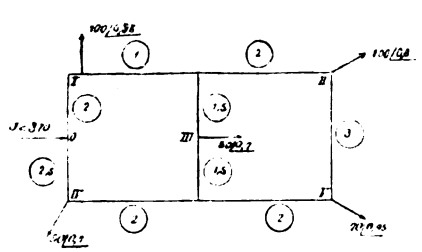


Fig. 11.

les charges marquées sur la figure et avec les facteurs de puissance inscrits dans les angles. Supposons que les canalisations soient en câbles concentriques dont les résistances sont exprimées en millièmes d'ohm. Nous ne tiendrons pas compte de l'intensité du courant de la source, car elle sera moindre que la somme algébrique des intensités particulières. Nous décomposerons cette figure en deux autres, l'une contenant les courants wattés et l'autre les courants dewattés en prenant respectivement pour les intensités les valeurs

$$i_n = J_n \cos \varphi_n \qquad \text{et} \qquad i_n = J_n \sin \varphi_n$$

On obtient ainsi les figures 12 et 13.

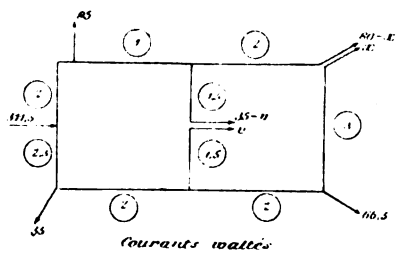


Fig. 12.

Si nous supposons la figure 12 coupée en deux points par exemple en II et III et la

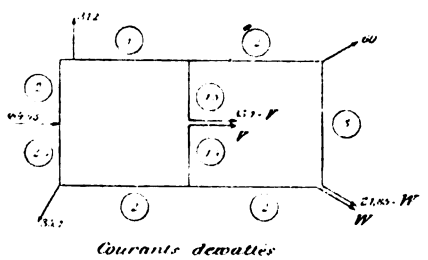


Fig. 13.

figure 13 en III et V, nous avons les équations :

1° pour la figure 12

$$1) \qquad 2.95 + 3\,(35 - v) + 5\,(80 - x) = 2,5.35 + 4,5\,v + 6,5.66,5 + 9,5\,x$$

$$2) \qquad 2.95 + 3\,(80 - x) + 4,5\,(35 - v) = 2,5.35 + 4,5\,(66 + x) + 6\,v$$

2° pour la figure 13

$$3) \qquad 2.31,2 + 3\,(35,7 - V) + 5.60 + 8\,(21,85 - W) = 2,5.35,7 + 4,5\,v + 6,5\,W$$

$$4) \qquad 2.31,2 + 3\,(60 + 21,85 - W) + 4,5\,(35,7 - v) = 2,5.38,7 + 4,5\,W + 6\,V$$

d'où l'on tire

$$x = 3,49\ \text{A} \qquad v = 16,6\ \text{A} \qquad V = 13,9\ \text{A} \qquad W = 31,1\ \text{A}$$

La répartition des courants est alors celle qui

Digitized by Google

est représentée par les figures 14 et 15 et peut être réunie en un seul schéma (fig. 16).

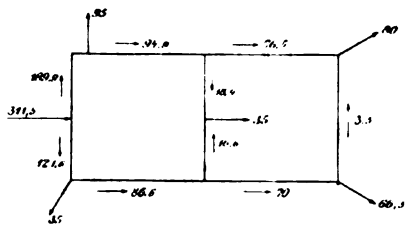


Fig. 14.

Pour avoir la valeur finale des courants il faut composer les deux composantes rectangulaires

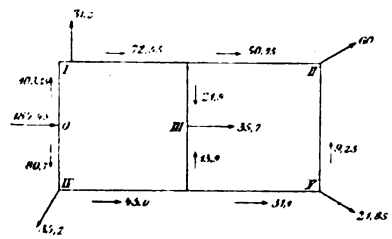


Fig. 15.

et inscrire à côté de la résultante la valeur de cos φ. Le décalage du réseau est donc égal à

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\mathrm{tg}^2\varphi}} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{184,5}{311,5}\right)^2}} = 0,862$$

et l'intensité fournie par la source est de

$$J_0 = \sqrt{184,45^2 + 311,5^2} = 362 \text{ A.}$$

On peut également comme vérification calculer les pertes de tension qui doivent être les

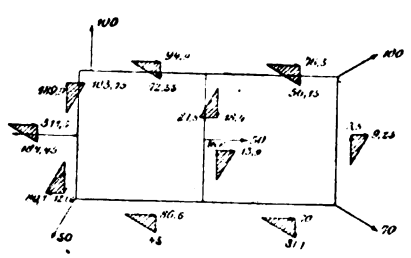


Fig. 16.

mêmes quel que soit le chemin parcouru. Ainsi en figure 17 on a pour le chemin O I III

$$2,16.2 + 119,4.1 + 28,5.1,5 = 594 \text{ (en mill. de volt)}$$

et par le chemin O IV III

$$146.2,5 + 97,7.2 + 21,6.1,5 = 593.$$

Nous avons supposé dans tout ce qui précède que l'on connaît exactement la valeur du *courant* d'utilisation. En réalité on ne connaît que la valeur de la *résistance* d'utilisation et on n'en

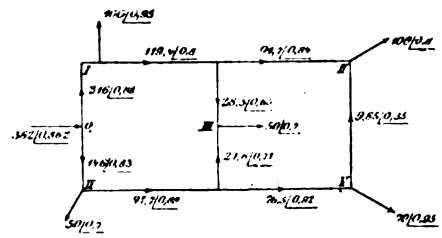


Fig. 17.

déduit le courant qu'en faisant une hypothèse sur la valeur de la tension disponible au point de consommation. On peut lever cette difficulté en procédant par approximations successives : cette dernière méthode sera nécessairement employée si la perte en ligne par résistance ohmique ou par réactance est assez élevée.

E. B.

Fonctionnement des parafoudres, par F. Neesen. Extrait de l'ouvrage *Die Sicherungen von Schwach und Starkstrom Anlagen*, édité par Friedrich Wieweg und Sohn à Brunswik (1).

I. Dégats causés par la foudre dans les installations. — Après avoir passé en revue les différents types de parafoudres nous exposerons les dégâts commis par la foudre dans les installations industrielles. Il est très regrettable que l'on n'ait encore que peu de documents sûr ce sujet, particulièrement en ce qui concerne les courants intenses. Il y a pourtant une question fondamentale qu'il s'agit de résoudre, c'est de savoir s'il faut mettre à la terre les machines, transformateurs, etc., ou bien s'il faut les isoler soigneusement.

Dans une installation d'éclairage (2) où l'on se servait de parafoudres télégraphiques ordinaires, ceux-ci furent traversés ; les pôles de la batterie d'accumulateurs furent mis à la terre et il en résulta un arc persistant, une décharge de la batterie et un petit incendie.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 467 et 505, 23 et 30 décembre 1899.

(2) *Electrical Review*, t. XXIX, p. 290.

Digitized by Google

A Sirvens (1) une machine Thury employée pour transport de force fut détruite et tous les fils brisés à leurs points de jonction avec le commutateur.

L'*Electrical World* cite un cas (2) où l'isolant d'une machine a entièrement fondu et où le fil induit a été mis à la masse.

Gœrges décrit (3) un coup de foudre sur une ligne protégée par un parafoudre qui était constitué par un certain nombre de charbons situés en regard les uns des autres; le fil de terre était pourvu de coupe-circuits formés de fils de cuivre de 0,3 mm. L'arc du court-circuit ne pouvait être éteint qu'après un arrêt momentané de l'exploitation. La décharge avait noirci le fil fusible sans le fondre; l'intensité du courant s'accrut et les coupe-circuits de la ligne furent fondus. Ce non-fonctionnement partiel du parafoudre est dû à ce fait qu'en un autre point de la canalisation, la foudre avait gagné l'enveloppe d'un transformateur, avait brisé les supports en porcelaine et causé un commencement d'incendie sans pourtant endommager le transformateur lui-même.

Dans une voiture en marche d'un chemin de fer électrique (4) du système Sprague, il se produisit une décharge à un moment où un petit nombre de spires des inducteurs étaient seules en circuit. Celles-ci furent endommagées à l'exclusion des autres.

A Prague, pendant un violent orage, le collecteur d'une machine de l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft fut couvert de grandes étincelles. Un employé de l'usine, voulant y remédier, fut atteint par la foudre mais sans accident grave. Le parafoudre à solénoïde ne fut pas endommagé.

A Rostock, un long morceau d'un fil de terre fut fondu tandis que les canalisations conduisant à la station et non protégées ne furent pas atteintes.

Voici maintenant deux cas montrant l'influence de la mise à la terre des appareils. A Stockholm, le support d'un transformateur de 3 000 volts avait été mis à la terre pour la sécurité des ouvriers. Un parafoudre à solénoïde protégeait l'installation. Malgré cela la foudre atteignit le local des transformateurs, fondit les coupe-circuits et sauta par la première borne d'entrée sur le bâti d'un transformateur. Un tube de caoutchouc qui entourait le conducteur à l'endroit de son entrée brûla et la flamme gagna le transformateur. Depuis, le bâti des transformateurs a été isolé du sol et une bobine d'induction a été mise en circuit avant le fusible; quand une décharge atmosphérique se produisait l'éclat des lampes augmentait, mais il n'y avait aucun accident.

A Pontresina, la station génératrice d'un transport de force fut détruite deux fois en deux années; la troisième on isola complètement le bâti des machines. Depuis ce temps (il y a six ans de cela) la foudre n'a occasionné aucun dégât.

Dans les installations faites par la Société Schuckert, il y a eu l'année dernière 16 accidents produits par la foudre. Une fois, l'isolant d'un collecteur fut détruit entre les lames et la masse. — Dans deux cas, les lampes à arc furent abîmées : la foudre avait détruit la cordelette de soie et la poulie des lampes. — Trois fois, des compteurs furent endommagés : une fois parce que la foudre avait passé directement du conducteur d'entrée à celui de sortie en fondant la plaque de fondation; deux fois parce que la résistance du tambour fut détruite. — Une fois, la foudre brûla l'isolant d'un coupe-circuit automatique, passa de là à la machine, franchit l'espace d'air compris entre deux balais et gagna le sol. Deux voltmètres furent brûlés; dans l'un des cas, un premier coup de foudre produisit une mise à la terre d'un parafoudre et une seconde décharge détruisit l'instrument. — Un coup de foudre rompit une ligne téléphonique. — Deux fois des parafoudres furent détruits avec tous leurs circuits. — Trois décharges détruisirent des lampes à incandescence. — Un coup de foudre brûla le primaire d'un transformateur, atteignit le secondaire et gagna le sol.

En Amérique, les orages sont bien plus violents que chez nous et les dispositifs de sûreté bien plus soignés : mais les renseignements sur les accidents survenus font défaut.

Il arrive souvent que, dans les orages éloignés, une partie de la décharge gagne les appareils, même si le fonctionnement des parafoudres est irréprochable.

(1) *Éclairage Électrique*, t. I, p. 93.
(2) Tome XII, p. 84.
(3) *El. Zeitschrift*, t. XVII, p. 514.
(4) *Electrical World*, t. XVI, p. 416.

Digitized by Google

Zielinski donne l'explication suivante de ce phénomène[1] : dans un orage rapproché la courbe représentant le courant de décharge en fonction du temps tombe très rapidement ; dans un orage éloigné elle tombe bien plus lentement. C'est pourquoi dans un orage rapproché la self-induction des appareils joue un bien plus grand rôle et force le courant de décharge à passer par le parafoudre.

II. Recherches expérimentales sur les parafoudres. — Quoiques les laboratoires n'offrent que de faibles sources d'électricité comparativement avec la foudre, il existe cependant un certain nombre de moyens pour déterminer la manière dont se comporte un parafoudre. Nous disposons de quantités assez grandes d'électricité sous des tensions qui dépassent 50 000 volts ; mais la plupart des études ont été faites avec des tensions moindres. Pour examiner de quelle manière le court-circuit est rompu après la décharge, il suffit évidemment de prendre la tension de la ligne.

Wurts a publié un certain nombre de données sur ses parafoudres, entre autres sur le parafoudre à colonnes. Dans ses essais, il s'est proposé d'interrompre l'arc par un dispositif entrant en action sous l'effet d'un courant intense et mettant en court-circuit le générateur de courant. La ligne n'est plus alors à la tension suffisante pour entretenir l'arc. Le court-circuit de la machine est ensuite supprimé et le régime normal rétabli. Dans les essais ce parafoudre était formé d'une plaque de charbon dentée, intercalée dans une ligne de 100 m. L'intervalle d'air du parafoudre fut couvert d'une feuille d'étain et la ligne reliée par un interrupteur à un alternateur de 1 000 volts. Au moment du court-circuit de l'alternateur l'arc s'éteignit, mais il se ralluma au moment où le court-circuit fut supprimé. Comme les charbons avaient été portés au rouge blanc, on les remplaça par trois tiges de laiton, celle du milieu étant à la terre, les deux autres à la ligne. Aux essais, l'extinction de l'arc fut persistante, mais elle se produisait également bien quand on ne mettait pas l'alternateur en court-circuit. Le laiton était écroui et contenait du zinc et du cuivre. Dans un deuxième essai où ces tiges étaient en laiton coulé, contenant du fer et du cuivre, toute la masse de laiton fondit. La forme des tiges (sphériques, ovales, demi-cylindriques, cubiques) ne modifia pas les résultats. Si on remplaçait le laiton coulé par de l'acier, du cuivre, du bronze phosphoreux, de l'aluminium, du bronze d'aluminium, de l'étain, du nickel, l'arc persistait également. Le zinc seul l'étouffa. Wurts admet que le zinc produit des vapeurs non conductrices tandis que celles des autres métaux sont conductrices.

On constata même que plus l'espace d'air était petit, moins l'arc tendait à durer entre des électrodes de zinc. Avec une dynamo continue de 500 volts, l'arc persista entre des électrodes de zinc, mais son intensité fut bien moins grande qu'avec d'autres métaux ; par contre l'arc produit par 2 400 volts alternatifs s'éteignit dans les mêmes conditions. L'antimoine et les métaux des groupes du zinc et de l'antimoine jouissent des mêmes propriétés.

Pour augmenter la sécurité, Wurts emploie ordinairement plusieurs appareils. D'après l'*Electrical World* (t. 22, p. 737), il fallut trois parafoudres à six tiges chacun pour interrompre l'arc d'une machine de 3 000 volts alternatifs.

En outre entre deux appareils Wurts sont des bobines de protection destinées à forcer la décharge à passer à travers les parafoudres. Dans la région montagneuse du Colorado où les orages sont fréquents, on employa le dispositif

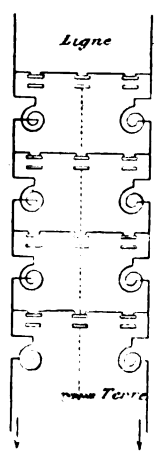


Fig. 1.

représenté par la figure 1, où quatre rangées de parafoudres étaient en parallèle. La plupart des décharges se produisirent dans la seconde

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XIV, p. 310.

Digitized by Google

rangée, quelques-unes dans la troisième, mais très peu dans la première et la quatrième.

Siemens et Halske ont fait des essais sur les parafoudres à soufflage magnétique de Thomson. Quand on atteignait 5 000 volts, l'instrument ne fonctionnait plus. Les surfaces polaires doivent augmenter avec la tension et être très bien isolées. L'émail et l'amiante furent percés après quelques décharges. Le bois se comporta mieux mais prit quelquefois feu.

III. Projet d'installation d'un parafoudre. — Les indications précédentes, quoique peu nombreuses, fournissent cependant des points de repère pour l'installation d'un parafoudre. M. Gœrges a indiqué nettement les conditions à exiger d'un parafoudre (1) :

1° Un parafoudre doit être dénué de self-induction, du moins sur le trajet de la décharge ;

2° Un parafoudre doit être aussi simple que possible pour pouvoir être facilement remis en état ;

3° Des parafoudres à organes fixes sont préférables à ceux dont les organes sont mobiles, car ces derniers exigent plus de surveillance ;

4° Les deux électrodes doivent être très bien isolées l'une de l'autre, surtout pour les hautes tensions, sans cela on compromettrait l'isolement de toute l'installation.

Chaque parafoudre doit être muni d'un interrupteur permettant de le séparer facilement de la ligne.

En ce qui concerne la répartition des parafoudres, il faut en premier lieu protéger les points où des lignes aériennes pénètrent dans un bâtiment. En outre, il faut protéger les câbles à leurs points de jonction avec les lignes aériennes. Enfin il est bon de répartir les parafoudres aussi uniformément que possible sur tout le réseau.

D'après Gœrges, il faut isoler complètement le bâti des machines et par suite isoler le personnel du sol avec des semelles isolantes.

Les ronces artificielles qui surmontent certaines lignes aériennes sont très propres à éviter les accidents causés par la foudre : mais elles sont peu recommandables en pratique : la charge atmosphérique que ces fils contiennent produit des courants induits intenses dans les conducteurs voisins, en outre si ces fils de protection se brisent, ils occasionnent des courts-circuits. Il vaut mieux avoir beaucoup de paratonnerres à pointes.

La ligne de terre ne doit pas être en fer, à cause de la self-induction de ces conducteurs ; Gœrges préfère les fils ou les câbles de cuivre.

En outre, le parafoudre doit pouvoir agir en toutes circonstances; il ne doit pas être trop coûteux; enfin et surtout il doit agir rapidement, de façon à éviter toute détérioration de la ligne et du parafoudre lui-même. Un court-circuit de quelques secondes seulement peut être très désagréable, car, si dans le circuit il se trouvait des moteurs, ceux-ci s'arrêteraient.

IV. Dispositifs de protection des lignes. — Les lignes sont plus exposées que tout le reste de l'installation à une décharge atmosphérique. Comme dispositif de protection générale on a souvent utilisé un filet disposé au-dessus de la ligne et mis à la terre en un certain nombre de points. Mais outre les inconvénients signalés par M. Gœrges, il faut tenir compte aussi de la self-induction de ce filet; dans le cas où le nombre des lignes de terre est insuffisant, la décharge a donc une tendance à éviter le filet et à tomber sur la ligne.

Pour pouvoir juger les autres parafoudres au point de vue de leur efficacité pour protéger les lignes, il faut d'abord se demander si le pouvoir des pointes joue un rôle dans cette protection. Le pouvoir des pointes consiste en une décharge sans étincelle de corps chargés électriquement. Cette décharge dure un temps appréciable, pendant lequel la rupture de l'équilibre électrique se propage sur toute la ligne. On ne peut donc pas compter sur les pointes et il faudra toujours essayer de provoquer une décharge rapide par étincelles, la charge résiduelle étant aussi faible que possible. On est conduit à donner au parafoudre la plus grande capacité possible. Donc, au lieu d'employer les pointes, on fera passer la décharge entre deux conducteurs ayant une assez grande surface.

Les parafoudres à plaques sont donc préférables aux parafoudres à pointes sans pour cela être absolument satisfaisants. Les appareils à solénoïdes comme celui de Siemens sont bien meilleurs, surtout pour les hautes tensions. Naturel-

(1) El. *Leitschrift*, t. XV, p. 511.

Digitized by Google

lement, ces instruments ne sont acceptables que si les olénoïde est shunté par un circuit non inductif.

Pour les courants alternatifs, le parafoudre électrodynamique Siemens est de beaucoup le meilleur. D'abord, l'instrument ne peut en aucune façon être endommagé par la décharge. Il n'y a qu'un inconvénient, c'est que le déplacement de l'arc jusqu'au point de rupture dure quelques secondes, ce qui est nuisible.

Pour effectuer convenablement la décharge de la ligne, la pratique a indiqué d'entourer la partie du parafoudre qui communique avec la ligne à décharger, de surfaces métalliques en communication avec la terre. Le poteau du para-

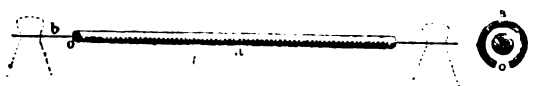


Fig. 2.

foudre porte (fig. 2) deux cloches isolantes distantes de 10 centimètres entre lesquelles se

Fig. 3.

trouve tendu le conducteur *b*. Autour de ce conducteur on dispose un tube de fer fendu suivant la génératrice *o*, de 1 centimètre de diamètre. Ce tube est fixé au poteau et communique avec le sol. La fente *o* permet la chute de la poussière qui a pénétré dans le tube. Le conducteur *b* sera entouré d'une bague isolante à chaque extrémité du tube ce qui évitera tout contact avec ce dernier. Il ne sera pas indispensable de mettre un semblable parafoudre à chaque poteau. L'étincelle de court-circuit est rompue par le courant d'air intense qui se produit. Il est d'ailleurs préférable d'entourer le fil de ligne de plusieurs tubes métalliques isolés les uns des autres par des tampons *d* (fig. 3). Le tube extérieur seul est à la terre. E. B.

ÉLECTROCHIMIE

Procédé Deissler pour la préparation électrolytique des persulfates et permanganates alcalins. — Brevet allemand, n° 105008.

Dans la préparation électrolytique, ces sels prennent naissance à l'anode et résultent de l'oxydation de l'électrolyte (sulfate ou manganate alcalin). Avec les dispositifs ordinaires on éprouve des difficultés à empêcher l'action réductrice de l'hydrogène qui se dégage à la cathode. Pour atteindre ce but, l'inventeur dispose l'anode au fond du bac d'électrolyse et la cathode vers sa partie inférieure ; on recouvre l'anode d'une couche d'électrolyte en solution très concentrée et par conséquent très dense ; au-dessus on verse une dissolution plus étendue qui surnage par suite de sa densité plus faible. M. Deissler propose également dans le même but de séparer l'appareil de décomposition en deux parties au moyen d'une cloison poreuse horizontale.

Procédé A.-Z. von Mazrimmen pour l'électrodéposition d'alliages d'or et de cuivre. *Elektrochemische Zeitschrift*, t. VI, p. 220, janvier 1900.

Ce procédé est basé sur le fait que la séparation électrolytique de l'or et du cuivre ne se produit que très difficilement en présence des métaux alcalino-terreux tandis que la séparation de ces derniers métaux et des deux premiers est complète. On obtient dans ces conditions des alliages d'or et de cuivre de couleur jaune, très adhérents et très résistants qui conviennent parfaitement pour la dorure des métaux de moindre valeur.

Le bain électrolytique se prépare de la manière suivante : on prend, pour 100 parties d'eau distillée, deux parties de cyanure de cuivre ou d'un autre sel de cuivre dissous dans un cyanure alcalin et une partie de cyanure d'or, puis on ajoute une solution de cyanure de potassium ou de sodium en quantité suffisante pour obtenir une dissolution complète. D'autre part on fait une solution aqueuse d'un chlorure alcalino-terreux ou terreux que l'on neutralise soit par un alcali libre soit par un carbonate ou cyanure alcalin. On mélange ensuite très intimement les deux solutions.

Pour obtenir un dépôt épais et bien régulier, il faut ajouter à l'électrolyte un sel alcalin ; l'azotate d'ammonium convient fort bien. Le résultat est encore meilleur si l'on ajoute au bain de l'acide azotique jusqu'à formation complète d'un précipité que l'on redissout par l'addition d'ammoniaque.

Comme anode il faut, autant que possible,

Digitized by Google

employer une feuille d'or, mais on obtient aussi de bons résultats avec une anode en platine ou en charbon de cornue.

Procédé E. Frénot pour la préparation électrolytique du sulfate de cuivre pur et du cuivre. Brevet anglais, n° 15438, déposé le 27 juillet 1899, accepté le 23 septembre 1899.

Dans un bac à électrolyse contenant de l'eau additionnée d'acide sulfurique, sont placés : 1° des lames minces de cuivre pur suspendues à des conducteurs reliés au pôle négatif d'une dynamo ; 2° un cylindre en cuivre brut, maintenu par des pinces, et relié au pôle positif de la dynamo ; une roue dentée G permet de faire tourner le cylindre à une vitesse dont la valeur est d'autant plus grande que la densité du courant employé est plus grande.

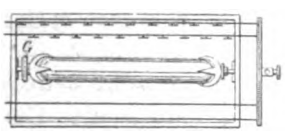


Fig. 1. — Dispositif Frénot.

Sous l'influence du courant l'anode se dissout, du sulfate de cuivre se forme et du cuivre se dépose sur les lames cathodiques. Le rapport entre la quantité de sulfate de cuivre formé et la quantité de cuivre déposé dépend de la distance séparant l'anode des cathodes. Si cette distance est faible, presque tout le sulfate de cuivre formé se trouve électrolysé et presque tout le cuivre de l'anode se retrouve sur la cathode. Si au contraire cette distance est grande, le sulfate de cuivre formé n'est électrolysé qu'en faible partie et le bain s'enrichit de plus en plus en sulfate de cuivre. Dans ce dernier cas, on fait passer l'électrolyte dans un bac de cristallisation quand on juge la concentration suffisante et l'on obtient du sulfate de cuivre pur.

L'argent et l'or que peut contenir le cuivre brut employé comme anode se rassemblent avec les boues au fond du bac à électrolyse.

Les procédés électrolytiques exploités industriellement, par **W. Borchers,** *Engineering Magazine*, t. XVIII, p. 389-403, décembre 1899.

Après quelques pages consacrées à des généralités sur les diverses formes de l'énergie et à montrer que l'industrie électro-chimique a pour principal objet de mettre sous la forme potentielle l'énergie que la nature nous offre sous diverses formes, l'auteur, en vue de faire ressortir l'importance qu'a déjà acquise cette industrie, donne le tableau suivant indiquant la production actuelle de divers produits électrolytiques et dont les chiffres doivent être considérés plutôt comme des minima que desmaxima.

TABLEAU I

	POIDS en tonnes.	PRIX de la tonne.	VALEUR TOTALE
Aluminium	12 930	2 625	33 941 250
Or.	21,3	3 500 000	74 620 000
Cuivre.	166 360	1 875	311 925 000
Sodium	260	5 625	1 462 500
Nickel	182	3 125	570 312
Phosphore	?	5 000	. . . . .
Argent.	1 475	101 250	149 343 750
Zinc	?	700	. . . . .
Soude à 70 p. 100.	82 060	191	15 693 975
Potasse à 80 p. 100.	17 280	462	7 992 000
Chlorure de chaux à 34,8 p. 100 . .	225 000	125	28 125 000
Chlorate de potassium.	11 350	818	9 292 812
Céruse.	2 500	562	1 406 250
Carbure de calcium	256 244	375	96 091 250
Carborundum. . .	1 585	1 250	1 981 250

M. Borchers indique ensuite brièvement les procédés actuellement en usage pour la fabrication électrolytique de ces divers corps :

Pour le sodium c'est le procédé H.-Y. Castner qui consiste à électrolyser de la soude fondue entre une cathode cylindrique en fer, disposée suivant l'axe du creuset et pénétrant dans celui-ci par le fond, et une anode concentrique, en fer également ; le sodium libéré monte vers la surface du bain, et se rend dans une cloche qui recouvre le bain pour mettre le sodium à l'abri de l'air. Des modifications de détails lui ont été apportées par Rathenau, Suter et la Aluminium Industry Stock Company d'une part, et Becker d'autre part.

Pour le magnésium (qui n'a pas été mentionné dans le tableau faute d'avoir eu des renseignements suffisamment complets), on utilise le procédé indiqué par Bunsen dès 1852, en substituant toutefois au chlorure de magnésium, le

Digitized by Google

TABLEAU II

		Aluminium	Or.	Cuivre.	Argent.	Chlorate de potasse.	Potasse caustique	Soude caustique	Chlorure de chaux.	Carbure de calcium.	Carborundum.	
Afrique : Transvaal.	Poids en t.	.....	10 320	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	Valeur en fr.	.....	36 120 000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Amérique : Canada.	Poids en t.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1 500	.....	.....
	Valeur en fr.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	562 500	.....	.....
États-Unis . .	Poids en t.	5 000	7 000	150 000	1 400 000	330	.....	5 120	11 200	60 000	500	Nickel 182,5
	Valeur en fr.	13 125 000	24 500 000	281 000 000	141 650 000	270 187	.....	979 600	1 400 000	22 500 000	625 000	570 312
Europe : Belgique .	Poids en t.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1 600	3 500	.....	.....	.....
	Valeur en fr.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	306 000	437 500	.....	.....	.....
Allemagne . .	Poids en t.	.....	4 000	13 600	75 000	120	17 280	2 600	51 200	12 444	225	2 500
	Valeur en fr.	.....	14 000 000	25 500 000	7 593 750	98 250	8 370 750	497 250	6 400 000	4 666 500	281 250	1 406 200
Angleterre . .	Poids en t.	1 000	.....	.....	.....	.....	.....	11 200	24 500	8 100	.....	Sodium 260
	Valeur en fr.	2 625 000	.....	.....	.....	.....	.....	2 142 000	3 062 500	3 037 500	.....	1 462 500
France. . . .	Poids en t.	6 120	.....	.....	.....	6 300	.....	45 280	99 030	35 000	800	.....
	Valeur en fr.	16 065 000	.....	.....	.....	5 158 125	.....	8 659 800	12 381 500	13 125 000	1 000 000	.....
Italie.	Poids en t.	.....	.....	560	.....	.....	.....	.....	.....	29 450	.....	.....
	Valeur en fr.	.....	.....	1 050 000	.....	.....	.....	.....	.....	11 043 750	.....	.....
Norvège . . .	Poids en t.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	24 500	.....	.....
	Valeur en fr.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	9 187 500	.....	.....
Autriche . . .	Poids en t.	.....	.....	1 000	.....	750	.....	7 200	15 750	21 000	.....	.....
	Valeur en fr.	.....	.....	1 875 000	.....	614 062	.....	1 377 000	1 968 750	7 875 000	.....	.....
Russie. . . .	Poids en t.	.....	.....	1 200	.....	.....	.....	2 400	5 250	6 000	.....	.....
	Valeur en fr.	.....	.....	2 250 000	.....	.....	.....	457 000	656 250	2 250 000	.....	.....
Suède. . . .	Poids en t.	.....	.....	.....	.....	2 000	.....	.....	.....	25 000	.....	.....
	Valeur en fr.	.....	.....	.....	.....	1 637 500	.....	.....	.....	9 375 000	.....	.....
Suisse	Poids en t.	810	.....	.....	.....	1 850	.....	3 300	7 200	28 250	.....	.....
	Valeur en fr.	2 126 250	.....	.....	.....	1 514 687	.....	631 125	900 000	10 593 750	.....	.....
Espagne . . .	Poids en t.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	3 360	7 350	5 000	.....	.....
	Valeur en fr	.....	.....	.....	.....	.....	.....	642 500	918 750	1 875 000	.....	.....

chlorure double de magnésium et de sodium (carnalite) qui est moins hygrométrique.

Pour l'aluminium l'auteur signale le procédé Héroult (avec le four Héroult ou le four Borchers) et le procédé Hall.

Pour la soude et la potasse (et accessoirement le chlorure de chaux) ce sont les procédés de la Aktien Gesellschaft Elektron de Francfort, Castner, Kellner, Solvay et C°, Elektrochemische Werke (Bitterfeld), Le Sueur, Hargreaves et Bird, et Richardson et Holland ; pour le chlorate de potassium ce sont ceux de Gall et Montlaur, Corbin, Ver. Chem. Fabr. Leopoldshall, Oettel, Hargreaves, et Blumenberg.

Pour la céruse on emploie des procédés dérivant de celui de Luckow et consistant à électrolyser une solution de carbonate de potassium ou de sodium entre une cathode inactive et une anode en plomb ; celle-ci se dissout et la céruse se précipite.

Pour le phosphore, le carborundum et le carbure de calcium l'énergie électrique ne sert qu'à produire la haute température nécessaire aux réactions chimiques.

M. Borchers termine cette revue rapide de l'industrie électro-chimique par les tableaux II et III qui donnent, l'un la répartition des produits électrochimiques dans les

Digitized by Google

diverses contrées, l'autre la puissance et la valeur des établissements électrochimiques.

TABLEAU III

	PUISSANCE Des usines construites ou en construction.			VALEUR des Installations.
	Eau.	Vapeur.	Gaz.	
	Chevaux.	Chevaux.	Chevaux.	Francs.
AFRIQUE :				
Transvaal . .	.....	454	.....	36 120 000
AMÉRIQUE :				
Canada . . .	1 500	.....	.....	562 500
Etats-Unis .	72 300	11 750	2 500	487 532 200
EUROPE :				
Belgique . .	.....	1 000	.....	743 500
Allemagne .	13 800	16 173	.....	68 922 750
Angleterre .	11 500	8 150	20	11 354 500
France . . .	110 140	1 300	.....	56 389 175
Italie	29 485	.....	.....	12 093 750
Norwège . .	31 500	.....	.....	9 187 500
Austrie . . .	29 000	23	.....	13 709 812
Russie . . .	6 075	1 500	.....	5 615 250
Suède. . . .	27 000	.....	.....	11 012 500
Suisse . . .	38 950	.....	.....	15 765 815
Espagne . .	7 100	.....	.....	3 436 350

Pouvoirs réflecteurs de quelques dépôts métalliques électrolytiques, par Sherard **Cowper-Coles**. *The Electrician*, t. XLIV, p. 267, 15 décembre 1899.

D'après des essais photométriques effectués sur des lames réfléchissantes d'argent, de chrome, de platine et de palladium, les pouvoirs réflecteurs de ces lames (l'auteur ne dit pas sous quelle incidence) seraient respectivement 0,94, 0,94, 0,52 et 0,38. Ces lames étaient préparées en déposant par voie chimique un dépôt d'argent sur une lame de verre, puis, par voie électrolytique, une couche de cuivre sur l'argent, enlevant ensuite la double couche métallique de la lame de verre et enfin recouvrant l'argent d'un dépôt électrolytique du métal dont on voulait étudier les propriétés réfléchissantes.

Les chiffres ci-dessus montrent que le pouvoir réflecteur du palladium est de beaucoup inférieur à celui de l'argent. Mais ce dernier métal se ternit rapidement quand, employé comme réflecteur, il se trouve dans le voisinage d'un arc électrique et l'intensité du faisceau réfléchi diminue. Avec le palladium au contraire cette intensité resterait pratiquement constante.

Des essais analogues faits avec du nickel électrolytique ont montré que ce métal ne peut convenir pour la confection des réflecteurs.

RECHERCHES SCIENTIFIQUES

Radiation du thorium, par **R.-B. Owens**. *Philosophical Magazine*, t. LXVIII, p. 360-387, résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. VIII, p. 709, décembre 1899.

Les radiations du thorium et de ses composés ont été découvertes par Schmidt qui leur a reconnu les caractères généraux des radiations de l'uranium ; elles traversent des épaisseurs considérables de métaux, agissent sur la plaque photographique, ionisent le gaz dans le voisinage de la substance active.

M. Owens a étudié comme sources de radiations l'oxyde, le sulfate et le nitrate de thorium, il a employé la méthode de Rutherford pour mesurer l'intensité des radiations.

Une couche de la substance active est étendue uniformément sur une lame de platine, reposant sur un plateau de laiton A qu'on charge à un potentiel déterminé en le reliant à l'un des pôles d'une pile dont l'autre pôle est relié au sol. Au-dessus du plateau A, se trouve un second plateau B de laiton, parallèle au premier et relié à l'une des paires de quadrants d'un électromètre dont l'autre paire est reliée au sol. A et B sont enfermés dans une boîte métallique. La vitesse du mouvement de l'aiguille de l'électromètre mesure le courant à travers le gaz séparant les deux plateaux. La charge graduelle du plateau supérieur est due au mouvement communiqué par la force électromotrice appliquée aux produits dans le gaz par les radiations qu'il absorbe.

M. Owens a étudié l'effet d'un courant d'air établi entre les deux plateaux, l'effet des poussières, de l'humidité, etc. Quand on fait passer de l'air à travers l'appareil, avec une vitesse considérable, on voit le courant de conduction tomber par exemple à 33 p. 100 de sa valeur primitive dans l'air au repos. L'air humide et l'air sec se conduisent de la même façon.

En recouvrant une couche d'oxyde de feuilles de papier ou de feuilles minces d'aluminium, on réduit de plus en plus l'effet du courant d'air à mesure que l'épaisseur de la couche protectrice est plus grande ; en couvrant la substance active

Digitized by Google

d'une enveloppe de mica, le courant de conduction est considérablement diminué, mais reste le même, que l'air soit au repos ou en mouvement.

Il ne suffit pas, d'ailleurs, que l'air soit agité dans la boîte pour qu'on observe une diminution du courant, il faut qu'il soit entraîné au dehors; enfin l'effet dépend de l'épaisseur de la couche radiante et de la nature du composé employé.

En ce qui concerne l'influence du voltage établi entre les deux plateaux, M. Owens a constaté que le courant de conduction est indépendant du signe du plateau inférieur. Les courbes représentant la relation entre le courant et la force électromotrice dans l'air ionisé par les radiations thoriques présentent le même « genou » caractéristique de la saturation que celles qui ont été obtenues avec les radiations uraniques. Pour une pression donnée de l'air, le voltage nécessaire pour dépasser le genou dépend de la distance des plateaux et, si celle-ci est constante, cette valeur du voltage dépend de la pression du gaz et augmente considérablement avec elle. La forme générale des courbes ne change pas quand la surface active est couverte d'une couche de feuilles d'aluminium.

L'oxyde de thorium donne un courant environ 6 fois plus considérable que le nitrate ou le sulfate dans les mêmes conditions.

En recouvrant la substance active d'un nombre croissant de feuilles d'aluminium, M. Owens a reconnu que les radiations sont d'une nature complexe et consistent en une espèce promptement absorbable, qui prédomine en quantité, et une espèce plus pénétrante, en quantité relativement faible. L'espèce la plus absorbable semble homogène, autant que l'indiquent ces phénomènes d'absorption, tandis que l'espèce plus pénétrante paraît elle-même complexe.

Pour le sulfate et le nitrate de thorium, la proportion de la radiation plus pénétrante dans la totalité est plus faible que pour l'oxyde.

Comme pour les rayons Rœntgen, on observe ici une absorption sélective par le papier et l'aluminium.

Une couche épaisse d'oxyde étant protégée par une couche de feuilles d'aluminium, si l'on vient à remplir la boîte de fumée de tabac, on voit le courant tomber au quart de sa valeur primitive. Il semble que les ions, dans leurs mouvements entre les plateaux aient cédé leurs charges aux particules de fumée qu'ils ont rencontrées.

Enfin M. Owens a constaté que le courant croît avec la pression de l'air jusqu'à une pression d'environ 300 mm, atteint un maximum à une pression d'environ 600 mm et diminue ensuite graduellement quand on diminue progressivement la distance entre les plateaux, il faut une pression de plus en plus grande pour atteindre le maximun du courant.

Quant à l'absorption par l'air elle varie très sensiblement comme la pression.

Electrolyse de solutions aqueuses et de deux sels ayant un ion commun, par **Mac Gregor.** *The Physical Review*, t. VIII, p. 129-140, résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. VIII, p. 684, décembre 1899.

Etant donnés deux sels 1 et 2, mélangés dans une solution aqueuse, la théorie permet de calculer le rapport des poids (en fraction d'équivalents) des deux ions caractéristiques de 1 et de 2, transportés simultanément par le courant. Ce rapport A vaut

$$A = \frac{a_1 N_1 \nu_1 \mu_1}{a_2 N_2 \nu_2 \mu_2}$$

a_1 et a_2 étant les coefficients d'ionisation de 1 et de 2; N_1 et N_2, leurs concentrations; μ_1 et μ_2 leurs conductibilités limites (pour une dilution infinie); ν_1 et ν_2, les nombres de transport d'Hittorf pour les ions caractéristiques de 1 et de 2.

A peut ainsi être calculé, d'après les données de divers expérimentateurs, pour les mélanges suivants :

Na Cl	et	HCl
KI	et	KCl
$Ba Cl^2$	et	HCl
SO^4H^2	et	SO^4Cu

La comparaison avec les valeurs de A trouvées directement est assez favorable à la théorie (différences inférieures à 20 p. 100), sauf pour le mélange d'acide sulfurique et de sulfate de cuivre, où la valeur de A calculée peut être jusqu'à six fois plus grande que celle trouvée directement.

Digitized by Google

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 29 janvier 1900.

Contribution à l'étude du rayonnement du radium, par **H. Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 206-211.

L'auteur fait connaître les résultats de diverses expériences faites sur la partie du rayonnement du radium déviable par un champ magnétique, en particulier celle qui est capable de traverser le papier noir.

1° *Déviation magnétique dans le vide.* — Un tube de verre où l'on peut faire le vide est disposé horizontalement entre les pôles d'un électro-aimant, normalement au champ. Dans le tube se trouve une plaque photographique horizontale enveloppée de papier noir. Au-dessus de la plaque est une lame de plomb de 0,94 mm d'épaisseur; sur cette plaque est la matière radio-active rassemblée dans un trou d'environ 1 mm de diamètre percé dans une carte et maintenue en dessous par une feuille de papier noir et en dessus par une très mince feuille d'aluminium. Dans ces conditions la matière radio-active peut rester plusieurs heures sur la plaque sans la voiler et donner seulement une impression directement au-dessous de la source, à travers le plomb. On fait alors le vide et on excite le champ. Au bout d'une dizaine de minutes on interrompt le courant, on laisse rentrer l'air dans le tube, on rétablit le champ, mais dans le sens inverse de celui de la première expérience, et, après la même durée d'action de ce champ, on interrompt le courant. On a alors sur la même plaque deux impressions, l'une produite dans le vide, l'autre produite dans l'air, les deux impressions étant dans des sens opposés. M. Becquerel a obtenu ainsi des arcs d'ellipse paraissant presque identiques et à très peu près symétriques de part et d'autre de l'impression directe de la source; en d'autres termes *la déviation magnétique dans le vide ne présente pas de différence notable avec ce que l'on obtient dans l'air* (1).

(1) Dans ces expériences, où le champ magnétique était de 4060 unités C.G.S., la distance moyenne de l'impression à la projection verticale de la source était de 6,21 mm; comme la source était à 2,17 mm environ au-dessus de la plaque, la distance à la source de l'impression qui serait produite sur la plaque si le plan de celle-ci passait par la source elle-même, serait de 7,3 mm pour le champ employé et de 7,41 mm pour un champ de 4000 unités. Ce résultat concorde parfaitement avec celui d'une série d'expériences faites antérieurement *dans l'air* avec un champ de 4000 unités C.G.S., expériences qui avaient donné 7,43 mm.

2. *Identité du rayonnement émis par des sels radifères diversement actifs.* — Sur une même plaque photographique enveloppée de papier noir et placée horizontalement entre les pôles de l'électro-aimant, on a disposé côte à côte quelques grains deux préparations différentes de sels de radium, en interposant entre ces deux sources un écran perpendiculaire à la plaque; on excite alors l'électro-aimant, et, après un temps de pose variable avec les échantillons, on observe sur les deux moitiés de la plaque des impressions inégales comme intensité, mais égales comme déviation. L'expérience a été faite avec du carbonate radifère et deux chlorures d'activités différentes prêtés par M. et Mme Curie. Ces expériences montrent que *les divers sels de radium émettent des rayons également déviables*, c'est-à-dire de même nature, et ne diffèrent que par leur intensité.

3. *Trajectoires du rayonnement dans un champ magnétique uniforme.* — Diverses expériences (1) ont confirmé certains faits déjà observés par M. Becquerel et ont permis d'énoncer

(1) Voici la description de ces expériences et de leurs résultats :

« On dispose, comme dans les expériences précédentes, une plaque photographique enveloppée de papier noir, horizontalement dans le champ magnétique, mais la gélatine étant en dessous; très près du bord de la plaque, bord amené au milieu du champ, on place sur la face supérieure une lame de plomb, puis la substance active formant une source de petit diamètre; on excite alors l'électro-aimant de manière que le rayonnement soit rejeté en dehors de la plaque, et l'on observe qu'il se produit sur tout le bord au-dessous de la source une impression due aux rayons qui y sont ramenés. Si l'on dispose, dans l'espace, sur le trajet des rayons, divers écrans, leur ombre se reproduit sous la plaque, montrant que les rayons normaux au champ sont ramenés sous la source elle-même, et que les rayons obliques sont ramenés sur l'axe du champ passant par la source.

» Enfin, si, à côté de la plaque horizontale, on dispose une plaque verticale dont le plan se prolonge au-dessus et au-dessous de la première, on obtient une section de toutes les trajectoires des rayons qui la rencontrent et

Digitized by Google

les deux lois suivantes : *Les rayons qui se propagent normalement à un champ magnétique décrivent une circonférence d'un certain rayon R, passant par la source. Les rayons émis dans une direction oblique faisant un angle α avec l'axe du champ décrivent une hélice enroulée sur un cylindre de rayon R sin α.*

3. *Dispersion dans le champ magnétique.* — Si tous les rayons émis par une source étaient identiques l'expérience décrite dans le paragraphe 1 devrait donner, d'après les lois précédentes, des arcs d'ellipse intenses vers le bord extérieur et diffus vers le bord intérieur. Or on obtient, même avec une source radiante de très petit diamètre, des arcs d'ellipse très diffus vers l'extérieur et d'autant plus diffus que le champ magnétique est plus faible, c'est-à-dire que R est plus grand. Cette diffusion paraît devoir être attribuée à une dispersion, par le champ magnétique, du faisceau des radiations dont des expériences antérieures de l'auteur avaient déjà montré l'hétérogénéité.

Si l'on place sur la plaque photographique, toujours enveloppée de papier noir, des substances diverses absorbant certaines des radiations du faisceau hétérogène on doit obtenir ce qu'on peut appeler les spectres d'absorption relatifs aux substances considérées. L'expérience faite dans ces conditions donna en effet des arcs elliptiques décalés les uns par rapport aux autres. En calculant le rayon R correspondant M. Becquerel a trouvé, avec un champ de 2 400 unités C. G. S. : 6,1 mm sans autre écran que le papier noir ; 8,25 mm en mettant sur la plaque une lame d'aluminium de 0,1 mm d'épaisseur ; environ 12 mm avec une lame de cuivre de 0,085 mm d'épaisseur. L'auteur a également constaté que l'action de l'aluminium dépend de la distance à laquelle la lame de ce métal se trouve de la source. Ainsi, si au lieu de placer la lame d'aluminium sur la plaque photographique, on la place tout près de la source, l'arc elliptique obtenu a la même position que s'il n'y avait pas d'aluminium.

4. *Considérations sur les déviations électrostatiques.* — Les faits qui précèdent montrent qu'une partie du rayonnement du radium est tout à fait assimilable à des rayons cathodiques, ou à des masses d'électricité négative transportées avec une grande vitesse. Si donc on appelle e la masse électrique supportée par une masse matérielle m, ρ le rayon de courbure de la trajectoire décrite dans un champ magnétique H, on doit avoir $H\rho = \frac{m}{e} v$. M. Becquerel ayant trouvé $\rho = 0{,}37$ cm pour $H = 4000$, on en déduit 1 500 pour la valeur du second membre de cette égalité ; ce nombre est du même ordre de grandeur que ceux qui ont été trouvés pour les rayons cathodiques par J.-J. Thomson (1),

l'on reconnaît que ceux-ci sont ramenés sur l'axe qui passe par la source.

» On rend compte de toutes les apparences en assimilant le rayonnement en question aux rayons cathodiques, et en considérant ce rayonnement comme soumis aux forces qui sollicitent des forces électriques négatives traversant le champ magnétique avec une grande vitesse. Dans ces conditions, les trajectoires des rayons normaux à un champ uniforme sont des cercles passant par la source, tangents à la direction originelle du rayonnement ; ces cercles ont tous le même rayon R, dont la valeur est inversement proportionnelle à l'intensité du champ. Les rayons émis normalement à une plaque photographique parallèle au champ magnétique reviennent couper celle-ci normalement, et produisent une impression d'intensité maximum. Les rayons émis tangentiellement à la plaque reviennent sur eux-mêmes tangentiellement à celle-ci et ne produisent aucune impression.

» Pour une direction de propagation oblique, faisant avec l'axe du champ un angle α, la trajectoire est une hélice qui s'enroule sur un cylindre de rayon R sin α, ayant pour axe une parallèle à l'axe du champ, et tangent à l'élément de trajectoire au départ. L'hélice s'enroule dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre si la propagation a lieu dans le sens du champ, et en sens inverse si la propagation a lieu en sens contraire.

Ces résultats, connus pour les rayons cathodiques, s'appliquent aux rayons déviables du radium. Le lieu des impressions maxima sur la plaque photographique horizontale correspond au lieu des intersections avec ce plan des rayons dont les directions originelles sont dans un plan vertical parallèle au champ. Ce lieu est un arc d'ellipse dont l'un des demi-axes est 2R pour la direction perpendiculaire au champ, et dont l'autre serait πR pour la direction de l'axe ; mais les rayons n'atteignent pas ce point. Toutes les trajectoires de ces rayons ont la même longueur πR.

» Le lieu des intersections avec un plan normal à l'axe du champ, des trajectoires des rayons obliques dont les éléments originels sont dans un plan passant par l'axe, est une courbe dont le point de départ est sur l'axe passant par la source, et dont la tangente à l'origine fait avec l'intersection des deux plans un angle égal à $\frac{d}{2R}$, d étant la distance du plan à la source, et R le rayon de la trajectoire circulaire définie ci-dessus. L'expérience vérifie cette valeur théorique,

» Dans un champ magnétique égal à 4000 unités C.G.S., on a obtenu pour R des valeurs voisines de 3,7 mm. »

(1) *Phil. Mag.*, 5e série, t. XLIV, p. 293 ; 1897.

Digitized by Google

W. Wien (1) et Lenard (2) qui donnent des valeurs comprises entre 1030 à 1273. La déviation que subit une masse électrisée en parcourant avec une vitesse v, une longueur l dans un champ électrique d'intensité F, étant donnée par $\theta = \frac{Fl}{\frac{m}{e}v^2}$, la déviation que doit subir un rayon du radium dans un tel champ doit donc avoir pour valeur $\theta = \frac{Fl}{1500v}$.

La vitesse v est inconnue, mais si l'on suppose qu'elle est du même ordre de grandeur que celle des rayons cathodiques, on trouve que, pour avoir une déviation électrostatique notable, il faudrait employer des différences de potentiel égales ou supérieures à celles qui provoquent la décharge explosive entre les conducteurs dans l'air; la déviation électrostatique du rayonnement du radium ne pourrait donc être mise en évidence qu'en opérant dans le vide (3).

(1) *Verhandl. der phys. Gesellsch. zu Berlin*, t. XVI, p. 165; 1897.

(2) *Wied. Ann.*, t. LXIV, p. 279; 1898. *Écl. Élect.*, t. XV, p. 125, 16 avril 1898.

(3) A l'avant-dernière séance de la Société de physique, M. Curie a fait sur les propriétés des corps radio-actifs une fort intéressante conférence dans laquelle il passait en revue les travaux déjà nombreux, relatifs à cette question. Par sa nature même, cette conférence échappait à l'analyse, et pour cette raison le compte rendu n'en a pas été donné ici. Profitons de la communication de M. Becquerel sur le même sujet pour donner à nos lecteurs le résumé officiel de la conférence de M. Curie :

« La matière employée pour obtenir ces substances est un résidu de fabrication de l'urane provenant d'une usine de Joachimsthal, en Bohême. La Société centrale de Produits chimiques s'est chargée de ce traitement. On extrait actuellement trois substances fortement radio-actives de ce résidu : le polonium, le radium et une troisième substance qui a été séparée par M. Debierne. — Le polonium est voisin du bismuth; on obtient des substances très actives en précipitant par l'hydrogène sulfuré une solution chlorhydrique aussi acide que possible. L'activité du polonium diminue lentement avec le temps.

» Le radium est voisin du baryum; on enrichit le chlorure de baryum radifère en le soumettant à des cristallisations fractionnées et à des précipitations par l'alcool. — M. Demarçay a établi que le radium possède un spectre caractéristique. — Le poids atomique du métal est plus grand dans le chlorure de baryum radifère que dans le chlorure de baryum ordinaire (avec le dernier produit examiné on a obtenu 146, au lieu de 137). — On peut prévoir dès maintenant que l'isolement du radium serait facile si on disposait d'une quantité suffisante de matière très active.

» Les composés solides du radium augmentent d'activité à partir du moment où ils sont déposés à l'état solide: cette augmentation tend vers une certaine limite qui n'est pas encore atteinte après un mois. — On régénère l'activité initiale en faisant passer les composés par l'état de dissolution.

» Les composés du radium sont tous lumineux; mais le chlorure et le bromure, à l'état parfaitement sec, donnent des effets particulièrement intenses. — M. Curie montre à la Société divers échantillons lumineux. — Il montre également les effets de phosphorescence provoqués par les rayons du radium agissant sur le sulfate d'uranyle et de potassium et sur le sulfure de zinc.

» M. Curie présente à la Société un électroscope disposé pour les mesures de radio-activité. — Les rayons du radium, en agissant à petite distance sur des substances inactives, leur communiquent une *radio-activité induite* temporaire, qui disparaît progressivement. — Les substances au contact avec un sel de radium ou qui restent en dissolution avec lui acquièrent également une activité induite plus ou moins persistante. — On obtient, par l'action des radiations du radium, un grand nombre de réactions identiques à celles que produit la lumière : réduction des sels d'argent, du peroxyde de fer, du bichromate de potasse en présence des matières organiques. — Mais les rayons du radium produisent encore certaines actions qui leur sont spéciales : coloration du verre, de la porcelaine, du papier blanc, transformation du platinocyanure de baryum, de la variété vert jaune en une variété brune.

» M. Giesel a préparé du platinocyanure de baryum radifère, qui brunit spontanément et dont les cristaux polarisent alors la lumière à la façon de la tourmaline. M. Giesel a montré également que certains sels alcalins, par exemple le sel gemme, se colorent par l'effet des rayons du radium, comme sous l'effet des rayons cathodiques ou comme dans la vapeur des métaux alcalins. — M. Giesel a observé que le radium, approché de la tempe ou de l'œil fermé, produit une sensation lumineuse. »

Ajoutons qu'à la suite de cette conférence, M. Mascart a tenu à faire ressortir l'importance des recherches de M. et Mme Curie : « Le nom de M. Curie, a-t-il dit, restera attaché à une nouvelle méthode physico-chimique qui conduira, sans doute, à des découvertes aussi admirables que la méthode instituée par Kirchhoff et Bunsen ou bien encore de Lord Rayleigh et Ramsay ».

Sur l'existence des dérivées secondes du potentiel, par **Henrik Petrini**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 233-235.

La dérivée seconde par rapport à x du potentiel $V = \int \rho \frac{d\tau}{r}$, où $d\tau$ est l'élément de volume au point ξ, η, r la distance de cet élément au point x, y, z et ρ une fonction finie et intégrable, est la limite (pour $h = 0$) de la quantité

$$A_h = \frac{1}{h}\left(\frac{\partial V(x+h,y,z)}{\partial x} - \frac{\partial V(x,y,z)}{dx}\right)$$

En introduisant les coordonnées polaires r, θ

Digitized by Google

et ψ, l'auteur démontre, en partant de cette expression, que la condition nécessaire et suffisante de l'existence de la dérivée seconde de V est qu'il existe une limite pour $h = 0$, de la quantité

$$Wh = -\int_0^{2\pi} d\psi \int_{-1}^{+1} (1 - 3u^2) du \int_h^{\infty} \rho(r,u,\psi)\, \frac{dr}{r},$$

où l'on a posé $u = \cos\theta$.

Quand cette limite existe l'équation de Poisson, $\Delta V = -4\pi\rho$, s'établit facilement, mais l'auteur fait remarquer qu'elle peut être établie si ρ est continu, sans qu'on ait besoin de supposer l'existence des dérivées secondes, pourvu que l'on définisse alors ΔV par

$$\Delta V = \lim (A_{h1} + B_{h2} + C_{h3})$$

L'auteur cite ensuite quatre cas particuliers dans lesquels l'existence des dérivées secondes ou au moins de l'une d'elles peut être immédiatement prévue.

Lumière polarisée émise par un tube Geissler soumis à l'action d'un champ magnétique, par **R. Dongier**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 244-248.

L'axe du tube est disposé normalement à la direction des lignes de force d'un champ d'environ 4000 C. G. S. ; la lumière émise est étudiée au moyen d'un spectroscope et d'un polariscope de Savart.

I. En étudiant la radiation rouge émise par un tube à hydrogène, l'auteur a obtenu les résultats suivants :

1° Le champ magnétique affaiblit l'intensité de cette radiation.

2° Il la polarise partiellement ; la plus grande proportion de lumière polarisée se trouve dans une direction à la fois normale au champ magnétique et à la direction de la décharge et telle qu'un observateur regardant le tube peut amener par une rotation de 90° dans le sens des aiguilles d'une montre, le vecteur qui représente le champ magnétique en coïncidence avec le sens de la decharge ; dans la direction inverse la quantité de lumière polarisée est nulle ; dans toute autre direction cette quantité varie d'une manière continue avec l'angle de la direction considérée et celle du maximum de polarisation.

La netteté des franges données par le polariscope augmente en même temps que l'intensité du champ ; pour observer ces franges il faut un champ d'au moins 650 C. G. S.

II. Avec des tubes renfermant du chlore, de l'azote, de l'argon, du gaz carbonique et de l'oxyde de carbone, les mêmes phénomènes se manifestent, mais les apparences sont beaucoup moins franches qu'avec l'hydrogène.

Période d'établissement de l'étincelle électrique. Sa durée totale, par **H. Abraham** et **J. Lemoine**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 345-248.

Les auteurs ont montré l'an dernier (1) que le retard entre l'instant de la disparition du phénomène de Kerr et l'instant de la cessation du champ électrique qui lui donne naissance est de l'ordre du cent millionième de seconde. Pour démontrer ce résultat ils faisaient passer entre les deux lames d'un condensateur plongé dans du sulfure de carbone la lumière de l'étincelle de décharge du condensateur ; lorsque le chemin parcouru par les rayons lumineux avant leur entrée dans le condensateur n'était que 0,20 m, le phénomène de Kerr était bien nettement observable ; lorsque ce chemin était de 100 cm la rotation du nicol servant à mesurer le phénomène se trouvait réduite de moitié ; enfin quand ce chemin dépassait 400 cm le phénomène ne se manifestait plus. Comme la lumière met un billionième de seconde pour parcourir 30 cm, le retard est donc bien de l'ordre indiqué.

En interprétant les résultats de ces expériences les auteurs arrivent à cette conclusion que la durée totale de l'étincelle de décharge est de beaucoup inférieure à 400 billionièmes de seconde (2).

(1) *Éclairage Électrique*, t. XX, p. 349, 2 sept. 1899.

(2) Voici les considérations qui conduisent à cette conclusion :

« La cuve qui contient le condensateur est placée entre un nicol polariseur N_1 et un biréfringent B, dont les sections principales sont à 45° du champ électrique. Quand la biréfringence se produit, on obtient deux images ; on les regarde à travers un nicol analyseur N_2 qui permet de les amener à l'égalité. Cette égalité s'obtient pour deux positions du nicol qui forment entre elles un angle 2α. La valeur de α est fonction du retard δ créé par le champ électrique Un calcul élémentaire montre que les vibrations émergentes provenant d'une vibration incidente d'amplitude a ont pour intensités

$$2a^2 \cos^2\alpha \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad \text{et} \quad 2a^2 \sin^2\alpha \cos^2 \frac{\delta}{2}.$$

Digitized by Google

Les auteurs font ensuite remarquer que le temps de un cent millionième de seconde qui, dans leurs expériences, limitait la durée d'extinction complète du phénomène de Kerr est en réalité la somme de trois termes :

1° La durée *d'établissement* de l'intensité lumineuse de l'étincelle ;

2° La durée de la disparition du champ électrique dans le condensateur de Kerr, autrement dit la durée de la décharge ;

3° Le *retard* possible du phénomène de Kerr sur le champ électrique ; c'est-à-dire le temps pendant lequel le sulfure de carbone conserve sa biréfringence après que le champ électrique a disparu.

Ils en concluent que *chacun de ces phénomènes, pris isolément, n'a pas une durée atteignant le cent millionième de seconde.*

» Si l'on admet que l'œil intègre les énergies lumineuses qu'il reçoit, il faudra, pour les deux images, effectuer l'intégration entre l'époque T, où la lumière commence à entrer dans le condensateur, et l'époque T + θ, où le flux lumineux cesse de passer. La condition d'égalité des images est alors

$$\sin^2\alpha = \frac{\int_T^{T+\theta} a^2 \sin^2 \frac{\delta}{2}\, dt}{\int_T^{T+\theta} a^2\, dt}.$$

» 3. Ceci posé, nous observons d'abord que l'angle α est fini. On a trouvé, par exemple, 17°,3 pour la valeur de 2α correspondant au retard minimum.

» Dans le cas actuel, le premier membre de l'égalité précédente est très voisin de $\frac{1}{40}$. Au second membre, le dénominateur représente la quantité *totale* Q de lumière que l'étincelle envoie au condensateur. Au numérateur, les éléments de l'intégrale s'annulent avec δ, ils disparaissent donc dès que le phénomène de Kerr est éteint. En remplaçant, dans ceux qui subsistent, $\sin^2 \frac{\delta}{2}$ par l'unité, on obtiendra, pour le numérateur, comme valeur par excès, *probablement plus de dix fois trop grande*, la quantité q de lumière qui passe dans le condensateur pendant tout le temps où il est encore chargé. On peut donc écrire

$$\frac{1}{40} < \frac{q}{Q} \quad \text{ou} \quad Q < 40q.$$

» Autrement dit, la quantité totale de lumière émise par l'étincelle est de beaucoup inférieure à quarante fois celle qu'elle envoie pendant le temps que le phénomène de Kerr met à s'éteindre, et nous savons que ce temps ne dépasse pas $\frac{1}{100}$ de μs. S'il était permis d'admettre pour l'étincelle une intensité uniforme pendant toute sa durée, on en conclurait que cette durée est de beaucoup inférieure à 0,4 millionième de seconde. »

Action du cuivre sur l'acétylène ; formation d'un hydrocarbure très condensé, le cuprène, par **Paul Sabatier** et **J.-B. Senderens**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 250-253.

De l'acétylène pur et sec, préparé par l'action de l'acide chlorhydrique sur l'acétylure cuivreux, est dirigé sur du cuivre, réduit de son oxyde soit par l'hydrogène, soit *par l'oxyde de carbone.*

Quand le métal a été obtenu au rouge sombre, à partir d'un oxyde de grillage, il ne se produit à froid aucune réaction appréciable. Mais, si l'on élève la température vers 180°, le cuivre brunit et la pression diminue très vite par suite d'une condensation rapide de l'acétylène. Dans certaines expériences, le courant de gaz, dont la vitesse dépassait 20 cm³ par minute, s'est trouvé ainsi interrompu pendant plus de vingt minutes ; après quoi, le dégagement gazeux se rétablit très lent. Tout d'abord, il se dépose, dans les parties froides du tube, des liquides incolores formés surtout de carbures éthyléniques : la structure du cuivre, d'après l'examen microscopique, n'est pas encore changée. Mais au fur et à mesure que le courant gazeux se rétablit, toujours très ralenti par la réaction, le cuivre gonfle rapidement en prenant *une teinte moins foncée*, et bientôt il ne tarde pas à remplir le tube en obturant complètement le passage du gaz. Les carbures liquides condensés ont alors une coloration verdâtre et paraissent constitués par un mélange de carbures éthyléniques et aromatiques : ils donnent avec l'acide sulfurique concentré, une coloration rouge très intense et se solidifient peu à peu au contact de l'air et de la lumière comme le styrolène. Quant aux gaz peu abondants qui sortent du tube, ils contiennent, à côté d'une certaine proportion d'acétylène qui a échappé à la transformation, surtout des *carbures éthyléniques.*

La même réaction peut être réalisée avec du *cuivre compact, en lames ou en fils.* Il suffit de chauffer dans un courant d'acétylène vers 200°-250° un fil de cuivre bien décapé : il se recouvre rapidement d'une couche d'abord brune, puis jaune à mesure que son épaisseur s'accroît. C'est une expérience facile à montrer dans un cours.

Digitized by Google

Si l'on dispose dans un tube une traînée légère de la substance brune obtenue plus haut, et si on la chauffe vers 180°-250° dans un courant d'acétylène, le foisonnement se produit de nouveau, la matière gonfle et remplit de même tout le tube. On peut recommencer l'expérience avec cette nouvelle substance : après trois ou quatre foisonnements successifs ainsi opérés dans l'acétylène vers 200° on arrive à une matière qui ne se modifie plus quand on la chauffe dans ce gaz.

Le produit ainsi préparé est un solide jaune plus ou moins foncé, qui, au microscope, apparaît constitué par un assemblage de filaments très fins entortillés. Il est léger et mou. Il brûle avec une flamme courte et fuligineuse, en répandant une odeur aromatique et laissant un faible résidu d'oxyde cuivrique. C'est un carbure d'hydrogène dans la masse duquel se trouvent diffusées les petites quantités de cuivre qui ont contribué à sa formation, et dont la proportion est comprise entre 1, 7 et 3. L'analyse du carbure conduit à la formule brut $C^7 H^6$; les auteurs lui ont donné le nom de cuprène.

Sur un nouveau procédé d'extraction du caoutchouc contenu dans les écorces de diverses plantes et notamment des Landolfia; par **A. Arnaud** et **A. Verneuil**, *Comptes rendus*, *t.* CXXX, p. 259-261.

Les lianes des Landolfia qui croissent spontanément dans presque toute l'Afrique fournissent abondamment un caoutchouc estimé. Le procédé de la saignée, le seul universellement adopté, réussit cependant médiocrement avec ces lianes car le latex de celles-ci au lieu de couler facilement comme cela a lieu pour les Hevea du Brésil, se coagule presque instantanément sur le lieu même de l'incision, laissant ainsi la majeure partie du caoutchouc dans les vaisseaux lactifères.

Aussi a-t-on proposé plusieurs procédés d'extraction. Les uns traitent les écorces desséchées et grossièrement pulvérisées par des dissolvants appropriés : sulfure de carbone, benzine, etc. D'autres détruisent ou tout au moins désagrègent la cellule par un traitement aux alcalis. M. Deiss utilise l'action destructive de l'acide sulfurique.

MM. Armand et Verneuil préconisent le procédé mécanique suivant qu'ils ont essayé sur des lianes fraîches ou sèches de Landolfia mises à leur disposition par M. Godefroy Lebeuf, horticulteur :

« Les écorces sèches sont pulvérisées au pilon ou à la meule, ou par tout autre moyen agissant d'une manière analogue, puis tamisées de façon à séparer 40 à 50 p. 100 de poudre fine ne renfermant pas trace de caoutchouc. Le résidu, en partie aggloméré par plaques, est imbibé d'eau chaude, puis soumis à un long broyage, qui détermine la formation d'une pâte épaisse et friable, laquelle est ensuite tamisée au sein de l'eau chaude. Un nouveau broyage du magma resté sur le tamis fait apparaître dans la masse des filaments vermiculaires blanchâtres de caoutchouc. Ceux-ci, par un battage suffisamment prolongé, s'agglomèrent de plus en plus et finissent par former des masses spongieuses renfermant la totalité du caoutchouc. Pour séparer le reste de l'écorce adhérente, on projette le tout dans l'eau bouillante : le caoutchouc, plus léger, venant surnager à la surface, est facilement recueilli. Par un battage prolongé, on le transforme en une plaque ou réseau, formé de caoutchouc presque pur. La purification complète s'effectue par passage aux cylindres-laminoirs à vitesses différentielles, comme cela se fait ordinairement pour la purification des caoutchoucs bruts. »

Les auteurs ajoutent :

« Avec les *Landolfia*, les rendements sont très bons : l'écorce aérienne fournit 8 à 9 p. 100 de coutchouc ; l'écorce de racine, 14 à 15 p. 100 et davantage ; le tout venant, mélange de brindilles de diverses espèces, donne encore 6 à 8 p. 100. Les dissolvants ne donnent pas de rendements plus forts, et encore faut-il tenir compte dans ce cas des résines et matières grasses dissoutes.

« Ce procédé mécanique d'extraction, d'une grande simplicité, est applicable partout, et de plus, par son mode d'obtention même, le caoutchouc ainsi préparé a subi une véritable purification et se trouve exempt des corps gras et résineux qui le souillent ordinairement, même quand il a été recueilli par coagulation directe du latex. »

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 17 Février 1900. 7e Année. — N° 7

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — G. LIPPMANN, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — D. MONNIER, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — H. POINCARÉ, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — A. POTIER, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — A. WITZ, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — J. BLONDIN, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

APPLICATION DE LA THÉORIE GRAPHIQUE

A L'ÉTUDE DES PRINCIPALES CANALISATIONS A COURANTS ALTERNATIFS ET POLYPHASÉS

La simplicité de la méthode graphique pour l'étude des courants alternatifs la fait généralement préférer à la méthode analytique par les praticiens, chaque fois que l'application en est possible. C'est qu'elle donne, en effet, une facilité d'investigation étonnante et qu'elle aide puissamment la mémoire.

Nous avons utilisé cette méthode à différentes reprises dans ce journal.

Nous l'avons résumée dans le *Bulletin des Ingénieurs de Mons* (tome VII, 4e fascicule) et dans la *Revue universelle des Mines* (tome XLIV, 3e série) ; nous l'avons appliquée aux transformateurs et aux moteurs à courants polyphasés dans les tomes VIII, XLV et XLVI des mêmes revues.

Nous présentons aujourd'hui aux lecteurs de *L'Éclairage Électrique* le résumé d'une leçon que nous avons eu l'honneur de donner par intérim à l'Institut électrotechnique de Mons sur le fonctionnement et le calcul des principales canalisations à courants polyphasés et sur la dépense relative de cuivre en ligne dans ces canalisations et dans celles à courants continu et alternatif simple, pour deux hypothèses différentes : à égalité de tension maximum entre les fils de ligne et à égalité de voltage aux récepteurs ordinaires (lampes ou moteurs).

Nous n'avons pas la prétention de formuler des considérations inédites, mais seulement l'espoir d'exposer simplement et clairement le sujet, comme on doit le faire à des élèves dont on ne veut pas bourrer la mémoire de longs calculs quand cela est inutile ou à des ingénieurs praticiens dont le temps est précieux.

..

Digitized by Google

Nous n'avons pas tenu compte des effets de self-induction et de capacité.
Nous divisons notre petit travail en deux parties.

I. — FONCTIONNEMENT ET CALCUL DES PRINCIPALES CANALISATIONS A COURANTS POLYPHASÉS

A. CIRCUIT DOUBLE A COURANTS DIPHASÉS (fig. 1 à 5). — C'est le cas de certaines distributions dans lesquelles on veut séparer les deux circuits pour obtenir plus de facilité d'isolement et de réglage de la tension ou du courant. Soient : les circuits générateurs en AB et CD (fig. 1) ; les fils de lignes r ; les récepteurs d'énergie utile ab et cd, de résistances R ;

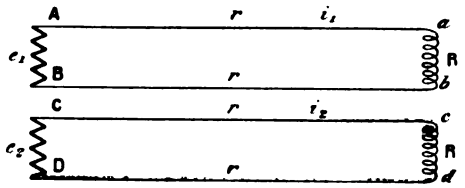


Fig. 1. — Circuit double à courants diphasés. Schéma.

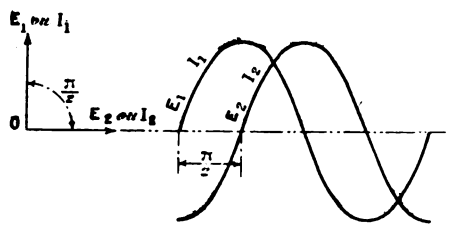


Fig. 2. — Forces électromotrices et courants relatifs aux circuits de la figure 1.

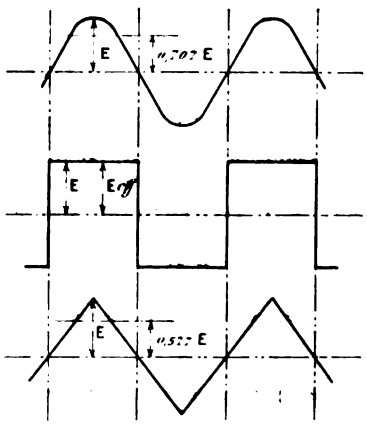


Fig. 3, 4 et 5. — Figuration des forces électromotrices alternatives.

les tensions instantanées e_1 et e_2 aux bornes A et B, C et D ; les tensions maxima aux mêmes bornes E_1 et E_2 ; les courants instantanés et maxima i_1 et i_2, I_1 et I_2. Les forces électromotrices sont décalées de 90°.

Admettons que la self-induction des circuits soit nulle et que les forces électromotrices et les courants varient sinusoïdalement.

Dans ces conditions, les forces électromotrices et les courants sont représentés par la figure 2.

La force électromotrice efficace vaut $\frac{E}{\sqrt{2}}$ ou 0,707 E, dans l'hypothèse des fonctions sinusoïdales (fig. 3) et KE pour une forme quelconque de force électromotrice périodique : K = 1 pour la forme rectangulaire (fig. 4) et K = 0,577 pour la forme triangulaire (fig. 5).

On a :

$$e_1 = E_1 \sin \omega t = E_1 \sin \frac{2\pi t}{T}, \qquad e_2 = E_2 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = E_2 \cos \omega t ;$$

$$I_{1eff} = \frac{E_{1eff}}{2r + R}, \qquad I_{2eff} = \frac{E_{2eff}}{2r + R} ;$$

$$i_1 = I_1 \sin \omega t, \qquad i_2 = I_2 \cos \omega t.$$

Puissance

$$P = E_{1eff} I_{1eff} + E_{2\,eff} I_{2eff} = \frac{1}{2} (2r + R) (I_1^2 + I_2^2) = (2r + R) (I^2_{1eff} + I^2_{2eff})$$

si

$$E_1 = E_2 \quad \text{et} \quad I_1 = I_2$$
$$P = (2r + R) I_1^2 = 2 (2r + R) I^2_{1eff}.$$

Digitized by Google

B. Circuit composé a courants diphasés ou a trois fils. — Lorsque les circuits générateurs ne sont pas continus, comme ils le sont dans la génératrice Schuckert à anneau Gramme, on peut toujours réunir en un seul deux fils de lignes et obtenir la distribution à trois fils à courants diphasés. Le schéma en est dessiné sur la figure 6.

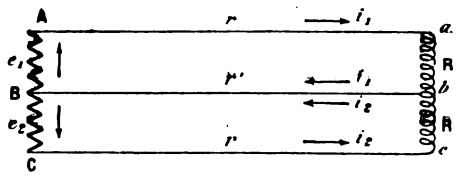


Fig. 6. — Canalisation à trois fils à courants diphasés.

Soit :

$$r + R = R'.$$

On a, d'après l'une des lois de Kirchoff, dans les polygones AB*ba* et CB*bc* :

$$e_1 = i_1 R' + (i_1 + i_2) r' = i_1 (R' + r') + i_2 r' \quad (1)$$

$$e_2 = i_2 R' + (i_1 + i_2) r' = i_2 (R' + r') + i_1 r' \quad (2)$$

d'où

$$i_1 = \frac{e_1 (R' + r') - e_2 r'}{R'^2 + 2R'r'} \quad (3)$$

$$i_2 = \frac{e_2 (R' + r') - e_1 r'}{R'^2 + 2R'r'} \quad (4)$$

La valeur instantanée de i_1 est donc la *différence* des deux valeurs instantanées de deux fonctions dont les maxima

$$I'_1 = \frac{E_1 (R' + r')}{R'^2 + 2R'r'} \qquad \text{et} \qquad I''_1 = \frac{E_2 r'}{R'^2 + 2R'r'} \quad (5)$$

sont décalés de 90° ou $\frac{\pi}{2}$ comme E_1 et E_2 qui les créent. Le courant I_1 est donc la résultante géométrique de I'_1 et I''_1. De même I_2 est la résultante géométrique de

$$I'_2 = \frac{E_2 (R' + r')}{R'^2 + 2R'r'} \qquad \text{et} \qquad I''_2 = \frac{E_1 r'}{R'^2 + 2R'r'}$$

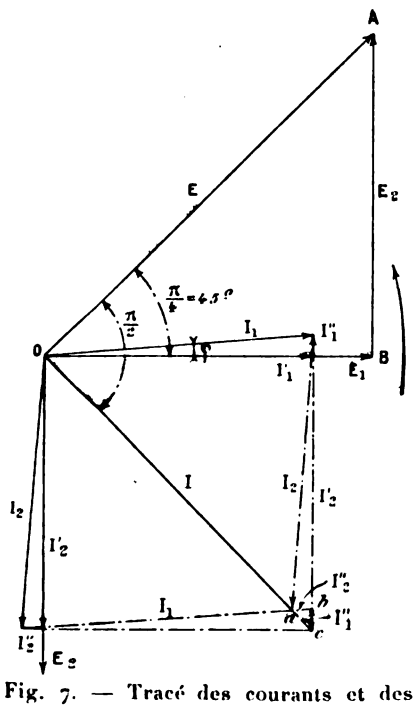


Fig. 7. — Tracé des courants et des forces électromotrices d'un circuit à trois fils à courants diphasés.

La figure 7 représente les tracés des courants I_1 et I_2. On voit que I''_1 et I''_2, étant négatifs, sont portés en sens inverse de E_2 et de E_1.

Les angles de différence de phase φ de I et E sont donnés par

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I''_1}{I'_1} = \frac{I''_2}{I'_2} = \frac{r'}{R' + r'} \quad (6)$$

en supposant que $E_1 = E_2$, comme c'est le cas en pratique.

Le courant I résultant, circulant dans le fil B*b* de la figure 6, égal à la somme géométrique de I_1 et I_2, est représenté par le vecteur O*a* de la figure 7.

Comme on le voit, la composition des courants dans le fil commun produit un décalage de I_1 et I_2 sur E_1 et E_2, ce qui rend l'angle de I_1 et I_2 obtus, alors qu'à premier examen, sans intervention de self-induction, on le croirait droit.

La valeur de I_1 résulte de la résolution du triangle rectangle $I_1 I'_1 I''_1$. Elle est, pour $E_1 = E_2$:

$$I_1 = \frac{E \sqrt{R'^2 + 2r'^2 + 2R'r'}}{R'^2 + 2R'r'} \quad (7)$$

Digitized by Google

On trouve la même valeur pour I_2.

Voyons si les angles φ sont appréciables en pratique et si I_1 et I_2 diffèrent beaucoup des valeurs qu'on leur trouverait en admettant que l'angle de I_1 et I_2 est droit.

Considérons une canalisation dans laquelle on perd 10 p. 100 en tension, soit environ pour $2r = 0{,}1\ (r + r' + R) = 0{,}1\ R''$ et admettons que $r' = \frac{r}{\sqrt{2}}$ (pour $I = \sqrt{2}\, I_1$ ou $\sqrt{2}\, I_2$)

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{r'}{R' + r'} = \frac{r'}{R + r + r'} = \frac{0{,}05\ R''}{\sqrt{2}\left(0{,}95 + \frac{0{,}05}{\sqrt{2}}\right)R''} = 0{,}036$$

d'où

$$\varphi = 2°3' \qquad \text{et} \qquad 2\varphi = 4°6'.$$

On trouve aussi en appliquant la formule (7) :

$$I_1 = \frac{E\sqrt{R'^2 + 0{,}000246\ R'^2 + 0{,}07\ R'^2}}{R'^2 + 2R'r'} = \frac{ER'\ 1{,}035}{R'^2 + 2R'r'} = \frac{E\ 1{,}035}{R_1 + 2r'} = \frac{E\ 1{,}035}{(R' + r') \times \frac{R' + 2r'}{R' + r'}}$$

$$= \frac{E\ 1{,}035}{R' + r' \times \frac{1{,}035}{1{,}00}} = \frac{E}{R' + r'} \qquad (8)$$

Or, si l'angle de I_1 et I_2 était droit, quand I_1 serait maximum, I_2 serait nul et on pourrait poser, pour le circuit AB*ba* :

$$E = I_1\,(r + R + r') = I_1\,(R' + r')$$

et

$$I_1 = \frac{E}{R' + r'}\ ; \qquad (9)$$

On reconnaît ainsi, en vertu des relations (8) et (9), que l'on trouve très sensiblement le maximum des courants en admettant qu'ils sont décalés de 90° et en écrivant :

$$I_1 \quad \text{ou} \quad I_2 = \frac{E_1 \text{ ou } E_2}{r + R + r'}, \qquad (10)$$

Remarquons aussi, d'après la figure 7, que la direction de $I = Oa$ est, dans toutes les hypothèses, à 45° par rapport à E_1 et à E_2. La figure 6 montre en effet que l'on obtient le courant I en composant I_1 et I_2 géométriquement avec leurs sens directs.

La différence de potentiel entre A et C s'écrit :

$$e = e_1 - e_2$$

d'où

$$\overline{E} = \overline{E_1} - \overline{E_2}$$

c'est-à-dire que la force électromotrice E est la résultante géométrique de E_1 et $-E_2$ ou OA. Elle vaut $\sqrt{2}\ E_1$ ou $\sqrt{2}\ E_2$ et elle avance de 90° sur I, de 45° sur I_1 et 135° sur I_2.

On conclut de ce qui précède que, en pratique :

1° Les courants maxima individuels valent très sensiblement

$$I_1 = I_2 = \frac{E_1 \text{ ou } E_2}{r + R + r'}\ ; \qquad (11)$$

2° Ces courants sont assez bien à angle droit. Exactement, ils sont décalés de 94° pour 10 p. 100 de perte en ligne ;

3° Le courant du fil moyen est égal à

$$I = \sqrt{2}\ I_1 \quad \text{ou} \quad \sqrt{2}\ I_2 = \sqrt{2}\ \frac{E}{r + R + r'}, \qquad (12)$$

Digitized by Google

4° La force électromotrice aux bornes extrêmes du générateur est donnée par la relation :

$$E_{ac} = \sqrt{2}\, E_1 \quad \text{ou} \quad \sqrt{2}\, E_2 ; \tag{13}$$

c'est donc à cette force électromotrice que l'isolement de la ligne doit résister ;

5° Cette force électromotrice avance de 90° sur I, de 45° sur I_1 et 135° sur I_2.

6° La force électromotrice aux récepteurs vaut :

$$E_{ab} \quad \text{ou} \quad E_{bc} = I_1 R = \frac{E_1 R}{r + R + r'} \tag{14}$$

et elle est en phase avec I_1 ou I_2 ;

7° La force électromotrice aux bornes extrêmes des récepteurs est égale, par analogie, à :

$$E_{ac} = \sqrt{2}\, I_1 R = \sqrt{2}\, \frac{E_1 R}{r + R + r'} \tag{15}$$

et elle est sensiblement en phase avec E_{AC}.

Pour des calculs exacts, on aura la direction de I_1 et I_2 en calculant l'angle φ par la relation :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{r'}{r + R + r'} \tag{6}$$

On trouve $\varphi = 2°$ pour 10 p. 100 de perte en ligne.

La figure 8 représente les forces électromotrices et les courants au moyen des sinusoïdes.

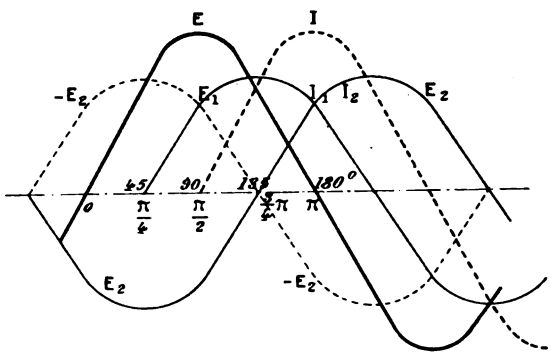


Fig. 8. — Tracé des courants et des forces électromotrices d'un circuit à trois fils à courants diphasés.

Toutes les valeurs de forces électromotrices et de courants trouvées sont les *maxima*. On obtiendrait les valeurs efficaces en multipliant ces dernières par 0,707 ou K.

C. Canalisation a courants triphasés montée en triangle. — Le schéma du circuit est représenté sur la figure 9. Nous admettrons encore qu'il n'y a ni self-induction, ni capacité et que tout est symétrique, tant du côté du générateur ABC que du côté des récepteurs *abc*.

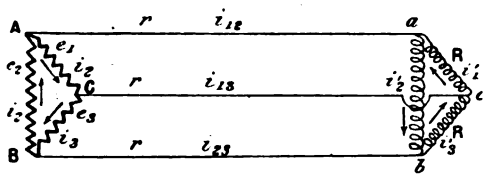


Fig. 9. — Schéma d'une canalisation à courants triphasés montée en triangle.

A cause de la symétrie, on comprend que les courants des récepteurs et du générateur ont même phase que les forces électromotrices *e*, dont les maxima E sont décalés de 120° ou $\frac{2\pi}{3}$, comme le représente la figure 10. Les forces électromotrices et les courants des triangles sont donc figurés par *om*, *op* et *on*.

En A, B, C, *a*, *b* et *c*, la somme des courants est nulle et on a, notamment :

$$i_{12} = i_1 - i_2$$

c'est-à-dire que la valeur maximum I_{12} est la résultante géométrique de I_1 et de $-I_2$. C'est donc O*r* ou I_{12} (fig. 10)

$$I_{12} = 2 I_1 \cos 60° = \sqrt{3}\, I_1$$

Ce courant avance de 30° sur I_1, comme I_{12} sur I_2 et I_{23} sur I_2.

Calculons la valeur de I_1.

Digitized by Google

Considérons le circuit ACc*a* au moment ou i_{12} est maximum. Alors, d'après la figure 10, en projetant sur O*r* :

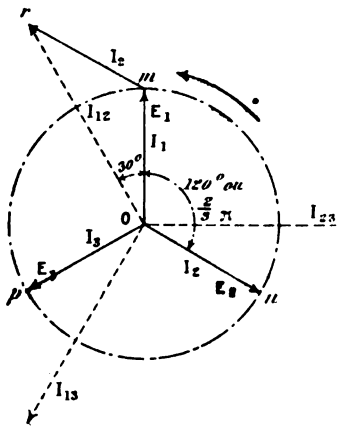


Fig. 10. — Diagramme polaire d'une canalisation à courants triphasés montés en triangle.

$$i_1 = i_1' = I_1 \cos 30° = I_1 \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$e_1 = E_1 \cos 30° = E_1 \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$I_{12} = I_1 \sqrt{3}, \quad i_{13} = I_1 \sqrt{3} \cos 60° = I_1 \frac{\sqrt{3}}{2}$$

On a :

$$e_1 = i_{12} r + i_1' R + i_{13} r$$

ou

$$E_1 \frac{\sqrt{3}}{2} = I_1 \sqrt{3}\, r + I_1 \frac{\sqrt{3}}{2} R + I_1 \frac{\sqrt{3}}{2} r$$

d'où

$$I_1 = \frac{E_1}{3r + R} \qquad (16)$$

Il résulte de ce qui précède que :

1° Les courants des triangles ont même phase que les forces électromotrices agissantes et ils diffèrent en phase (entre eux) de $\frac{2}{3}\pi$ ou 120° ;

2° Ces courants ont pour valeur maximum

$$I_1 = \frac{E_1}{3r + R} ;$$

3° Les forces électromotrices entre les lignes sont les mêmes qu'aux extrémités des circuits individuels du générateur ou des récepteurs ;

4° Les courants de ligne valent $\sqrt{3}$ ou 1,73 fois les courants des triangles. On a donc :

$$I_{12} = \sqrt{3}\, I_1 = \sqrt{3}\, \frac{E_1}{3r + R}.$$

Ces courants avancent de 30° sur I_1 ou I_2 ou I_3 et ils sont décalés de 120° entre eux ;

5° Les forces électromotrices aux bornes des récepteurs sont en phases avec i_1', i_2' et i_3' ou i_1, i_2 et i_3. Leur valeur maximum est :

$$E_1' = I_1 R = \frac{E_1 R}{3r + R}$$

et elles sont décalées entre elles de 120° ou $\frac{2}{3}\pi$.

D. Circuit à courants triphasés monté en étoile. — La figure 11 représente le schéma du montage. ABC est le *générateur*, *abc* les *récepteurs*. Nous admettrons encore qu'il n'y a ni self-induction ni capacité, que les fonctions sont sinusoïdales et les circuits symétriques.

Les courants i_1, i_2 et i_3 sont évidemment en phase avec e_1, e_2 et e_3, ont même valeur maximum et diffèrent en phase de 120° ou $\frac{2}{3}\pi$.

Ces trois courants ont pour valeur maxima les vecteurs OA, OB et OC de la figure 12, dont la somme géométrique O*A*a donne une résultante nulle. En *o* et *o'* de la figure 11, les sommes des courants instantanés sont donc naturellement nulles. Il en résulte que les

Digitized by Google

points o et o' peuvent rester isolés et *neutres* ou être reliés à la terre tant qu'il n'y a pas dissymétrie dans les circuits. S'il y avait dissymétrie, les courants ne seraient plus égaux et décalés de 120° et il faudrait employer un quatrième fil oo' permettant d'équilibrer la tension ou le courant de chacun des circuits au moyen de bobines de self-induction.

La symétrie des courants rend évidemment les portions $OCco'$, $OAao'$ et $OBbo'$ indépendantes et la valeur maximum des courants est ainsi :

$$I_1 \text{ ou } I_2 \text{ ou } I_3 = \frac{E_1 \text{ ou } E_2 \text{ ou } E_3}{r+R}$$

Quant au voltage entre deux fils de ligne, par exemple E_{13}, il est donné par la relation :

$$e_{13} = e_1 - e_3$$

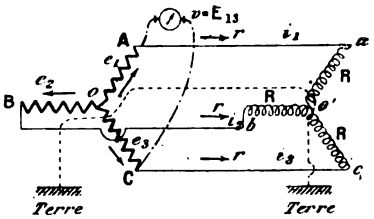


Fig. 11. — Schéma d'une canalisation à courants triphasés montée en étoile.

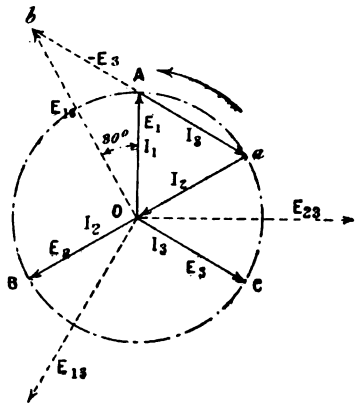


Fig. 12. — Diagramme polaire d'une canalisation à courants triphasés montée en étoile.

Ce qui montre que sa valeur maximum est la résultante géométrique Ob (fig. 12) de E_1 et $-E_3$. Elle vaut $E_1\, 2 \cos 60° = \sqrt{3}\, E_1$ et avance de 30° sur E_1.

Les conclusions qui s'imposent sont donc :

1° Les courants sont égaux, décalés de $\frac{2}{3}\pi$, communs aux générateurs et aux récepteurs et ils ont pour valeur maximum

$$I = \frac{E}{r+R} ;$$

2° Les forces électromotrices individuelles sont en phase avec les courants et ont pour valeur maximum E.

Celles des récepteurs valent

$$IR \quad \text{ou} \quad \frac{ER}{r+R} ;$$

3° Les forces électromotrices de ligne ou entre deux fils de ligne sont également sinusoïdales et décalées de $\frac{2}{3}\pi$; elles valent, en valeur maximum, $\sqrt{3}\, E = 1{,}73\, E$ et sont décalées de 30° par rapport aux forces électromotrices et aux courants individuels ; notamment E_{13} avance de 30° sur E_1 ou I_1 ;

4° Quand toutes les portions sont symétriquement chargées, comme dans les moteurs, ou que le nombre de lampes est toujours le même sur oa, ob et oc, les points neutres o et o' peuvent rester isolés. Dans le cas contraire, il faut les relier par un fil oo' auxiliaire qui permettra de régler la tension des ponts individuels. On donne généralement au fil oo' une section moitié moindre que celle des autres fils de ligne.

E. Canalisation a courants triphasés a montage mixte en étoile et en triangle. — Nous partirons toujours des mêmes hypothèses. Les figures montrent que :

1° Les forces électromotrices e_1, e_2 et e_3 ont même phase que les courants de ligne i_1, i_2 et i_3 et les fonctions des deux séries de valeurs différent en phase de $\frac{2}{3}\pi$ l'une par rapport à l'autre. Leurs maxima sont, par exemple : oA, oB et oC de la figure 14 ;

Digitized by Google

2° Les forces électromotrices de travail aux récepteurs *ab*, *bc* et *ca* sont les résultantes de E_1 et $-E_2$, E_3 et $-E_2$, E_3 et $-E_1$. Ce sont E_{12}, E_{23} et E_{13} de la figure 14, différant entre elles de 120° ou $\frac{2}{3}\pi$ et décalées de 30° sur les courants de lignes. Leur valeur maximum vaut $\sqrt{3}\,E = 1{,}73\,E$;

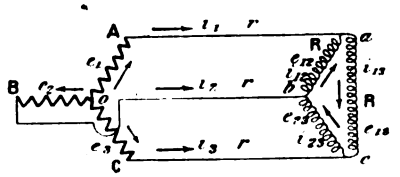


Fig. 13. — Schéma d'une canalisation à courants triphasée à montage mixte en étoile et en triangle.

3° Les courants de travail ou des récepteurs i_{12}, i_{23}, et i_{13} sont évidemment en phase avec E_{12}, E_{23} et E_{13} et on a notamment

$$i_1 = i_{13} - i_{12}$$

et

$$\overline{I_1} = \overline{I_{13}} - \overline{I_{12}}$$

c'est-à-dire que OA ou I_1 de la figure 14 est la résultante de oa' ou I_{13} et $a'A$ ou $-I_{12}$.

Ces courants valent donc

$$\frac{I_1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{I_2}{\sqrt{3}} \text{ et } \frac{I_3}{\sqrt{3}} = \frac{I_3}{1{,}73} = 0{,}58\,I_3$$

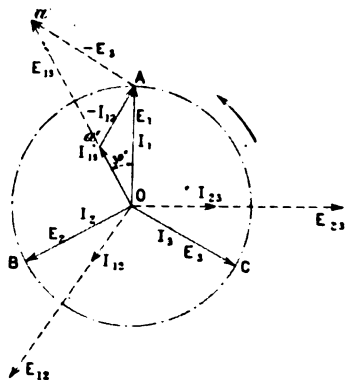


Fig. 14. — Diagramme polaire d'une canalisation mixte en étoile et en triangle pour courants triphasés.

4° Quant à la valeur maximum des courants de ligne, on la trouve en considérant l'un des circuits fermés, tel que *AoBba*, où l'on a :

$$e_1 - e_2 = i_1 r - i_{12} R - i_2 r$$

équation qui donne, quand i_1 est maximum), $E_1 = E_2 = E$; $I_1 = I_2 = I$:

$$E - E \sin 30° = Ir + \frac{I_1}{\sqrt{3}} \sin 60°\, R + Ir \sin 30°$$

ou

$$E - \frac{E}{2} = Ir + \frac{I}{\sqrt{3}} \frac{\sqrt{3}}{2} R + I \frac{1}{2} r,$$

d'où

$$I = \frac{E}{3r + R}.$$

5° On a par conséquent, pour courant maximum des récepteurs

$$I' = \frac{E}{(3r + R)\sqrt{3}} = 0{,}58 \frac{E}{3r + R}.$$

F. Canalisation a courants triphasés a montage mixte en triangle et en étoile. — On peut conclure, de l'inspection des figures 15 et 16, que :

1° Les forces électromotrices génératrices e_1, e_2, et e_3 sont décalées de 120° ou $\frac{2}{3}\pi$;

2° Les courants générateurs i_1, i_2 et i_3 sont décalés des mêmes valeurs et en phase avec les forces électromotrices ci-dessus ;

3° Les courants de ligne et de travail I_{12}, I_{13} et I_{23} valent $\sqrt{3}\,I_1$ ou $\sqrt{3}\,I_2$ ou $\sqrt{3}\,I_3$, sont décalés de $\frac{2}{3}\pi$ entre eux et en avance de 30° par rapport à I_2, I_1 et I_3 ;

4° Il est évident que les forces électromotrices des récepteurs e_a, e_b et e_c sont en phase avec les courants de ligne i_{12}, i_{13} et i_{23} ;

Digitized by Google

5° Les courants générateurs, tel I_1, sont donnés par une équation analogue à :

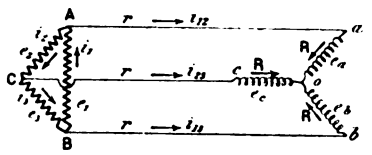


Fig. 15. — Schéma d'une canalisation à courants triphasés montée en triangle et en étoile.

$$e_1 = - i_{12}(r + R) + i_{13}(R + r)$$

qui donne, pour e_1 et i_1 maxima :

$$E = I\sqrt{3}\ (R + r)\cos 30^\circ + I\sqrt{3}\cos 30^\circ (R + r)$$

ou

$$E = (R + r)\left(I\frac{3}{2} + I\frac{3}{2}\right) = (R + r)\ 3I,$$

d'où

$$I = \frac{E}{3R + 3r}$$

6° Les courants de ligne valent donc :

$$I' = I\sqrt{3} = 1{,}73\ \frac{E}{3R + 3r}$$

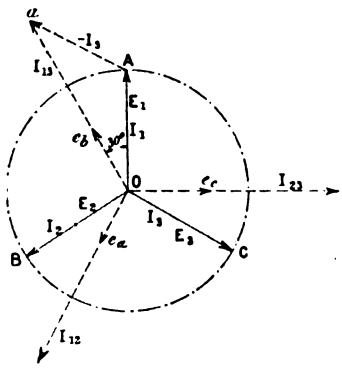


Fig. 16. — Diagramme polaire d'une canalisation mixte en triangle et en étoile pour courants triphasés.

7° Les forces électromotrices e_{ab}, e_{ac} et e_{cb} sont maxima quand e_1, e_2 et e_3 sont maxima. Elles valent donc, en valeur instantanée, par exemple pour e_{ab} :

$$e_{ab} = e_b - e_a = i_{13}R - i_{12}R$$

et en valeur maximum

$$\overline{E}_{ab} = \overline{I_{13}R} - \overline{I_{12}R}.$$

Cette dernière relation prouve bien que les forces électromotrices entre les trois bornes extérieures des récepteurs sont en phase avec E_1, E_2 et E_3. De plus, si $I' = I_{12} = I_{13} = I_{23}$, on a

$$E_{ab} = E_{bc} = E_{ac} = 2\cos 30^\circ I'R = \sqrt{3}\,I'R = \sqrt{3}\ \sqrt{3}\ \frac{ER}{3R + 3r} = 3\ \frac{ER}{3R + 3r}$$

8° Enfin, les forces électromotrices e_a, e_b et e_c qui sont en phase avec les courants de ligne valent

$$e' = \frac{E_{ab}}{\sqrt{3}} = \frac{3}{\sqrt{3}}\ \frac{ER}{3R + 3r} = \sqrt{3}\ \frac{ER}{3R + 3r}$$

Si la résistance des lignes était nulle ($r = o$), on aurait :

$$e' = \frac{E}{\sqrt{3}}$$

ce qu'on pouvait prévoir à la simple inspection de la figure 15.

(A suivre.)

S. Hanappe.

Digitized by Google

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

MOTEURS A COURANT CONTINU

De nombreuses applications des moteurs électriques à la propulsion ont déjà été signalées dans cette revue (1). Parmi celles-ci un des dispositifs le plus souvent adopté est celui qui consiste à mettre le moteur sur la barre même du gouvernail et à commander l'hélice par engrenage ou par chaîne. Dans tous ces systèmes l'hélice se déplace à l'extrémité du gouvernail, ce qui permet une action plus rapide dans les virages.

Le gouvernail propulseur imaginé par H.-O. Duncan (2) est de ce genre, mais la commande de l'hélice se fait par courroie.

Le moteur D (fig. 1 et 2) alimenté par une batterie d'accumulateurs peut coulisser à l'aide d'oreilles ménagées à cet effet le long de quatre colonnettes d, d_1, d_2, d_3 de façon à permettre d'élever et d'abaisser le moteur à l'aide d'une vis V.

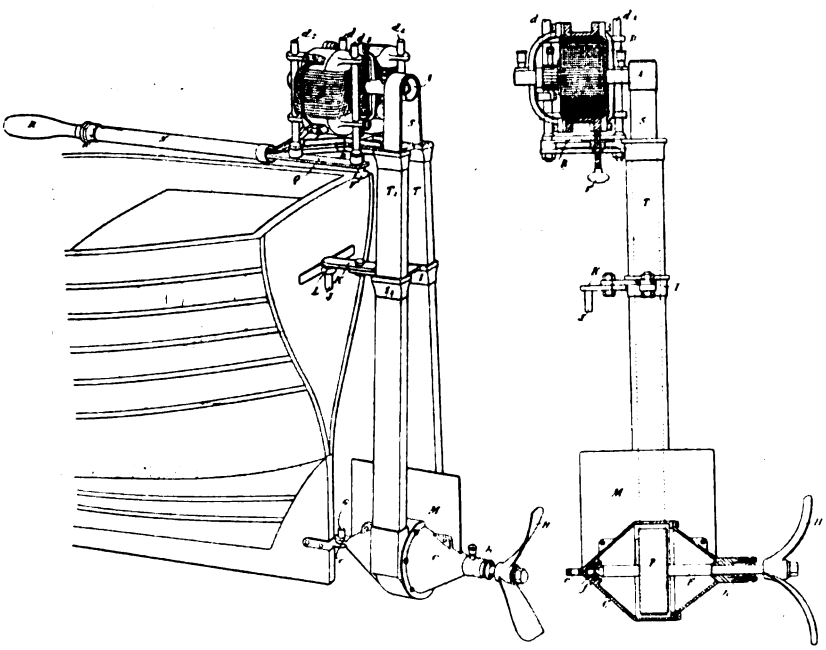


Fig. 1 et 2.— Gouvernail propulseur Duncan. Vue perspective, vue de côté et coupe partielle.

L'axe du gouvernail est formé de deux caisses étroites ou de deux tubes TT_1 qui aboutissent à une caisse C contenant la poulie de commande P de l'arbre F de l'hélice et portant le gouvernail M. Le gouvernail est fixé au canot par deux gonds, l'un J porté par le support K qui peut pivoter autour d'un axe pratiqué dans une entretoise réunissant les deux tubes T et T_1, et l'autre b porté par le canot lui-même et sur lequel vient s'engager une sorte d'oreille c venue de fonte avec la caisse C.

La barre du gouvernail est creuse et contient les fils d'amenée du courant et de départ au moteur ainsi que le commutateur qui est manœuvré en faisant tourner la poignée R. Cette poignée porte des repères correspondant aux différentes vitesses et au changement de sens de rotation.

La courroie S peut être remplacée par une corde ou pour une chaîne et la tension est obtenue à l'aide de la vis V.

(1) Voir en particulier : C.-F. Guilbert, Un gouvernail électrique propulseur électrique (*L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 446, 1894. — G. Richard, Applications mécaniques de l'électricité, propulseur New et Mayne (*L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 168.

(2) Brevet anglais n° 4 441, 2 figures. Déposé le 22 février 1898, délivré le 18 février 1899; date du dépôt du brevet français, 14 janvier 1898.

Digitized by Google

Les moteurs de MM. J.-T. Robson, C.-H. Mardsen et H.-N. Headland (1) appartiennent au type peu appliqué des moteurs à induit et à inducteurs mobiles. Les perfectionnements proposés par les inventeurs consistent à employer deux moteurs montés sur le même arbre, l'armature de chaque moteur étant reliée mécaniquement avec le champ magnétique entourant l'armature de l'autre. A cet effet l'induit de l'un des moteurs est claveté sur un arbre, lequel passe à l'intérieur d'un arbre creux portant l'induit du second moteur et l'inducteur du premier tandis que l'inducteur du second est claveté sur le

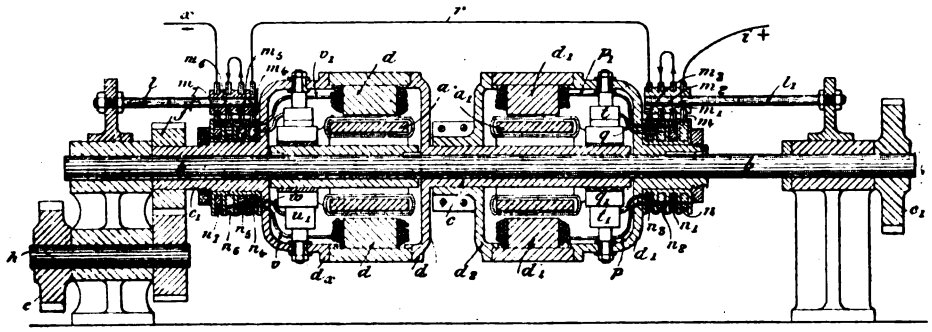


Fig. 3. — Moteur double Robson, Mardsen et Headland à induits et inducteurs mobiles.

même arbre que l'induit du premier. Ce dispositif est représenté sur la figure 3 ; l'induit a du premier moteur et l'inducteur d_1 du second sont clavetés sur l'arbre b. L'induit a_1 du second moteur est fixé sur un manchon c monté fou sur l'arbre b et supportant l'inducteur d relié d'autre part à un second manchon c_1 également fou sur l'arbre b. Ce dernier porte un premier organe de commande, ici une roue dentée e_1, tandis que sur le manchon extérieur c_1 est clavetée une roue dentée f engrenant avec un pignon g fixé sur l'arbre h portant un second organe de commande e tournant dans le même sens que le premier ; ces deux roues dentées peuvent attaquer conjointement une même transmission, ou mieux conduire chacune un récepteur distinct. Chacune des carcasses inductrices est formée de deux parties, la couronne portant les noyaux polaires et les flasques servant de supports, et dont l'une porte les axes des porte-balais, u, u_1, t, t_1, et les bagues de prises de courant de l'induit et de l'inducteur n, n_1, n_2, n_3, pour l'un des moteurs et n_4, n_5, n_6, n_7, pour l'autre. Sur ces bagues frottent les balais m portés par les tiges l et l_1 fixées sur les chapeaux de deux paliers de l'ensemble.

Le courant peut être fourni au moteur de la manière indiquée sur la figure, les deux moteurs sont alors en série, mais par des changements convenables de connexions entre les balais m et la source on peut laisser les induits en série et mettre les inducteurs en parallèle, ou mettre les induits en parallèle et les inducteurs en série, en même temps qu'on peut changer le sens du courant dans l'une ou l'autre partie et par suite le sens de rotation.

Ce genre de moteurs est plus particulièrement étudié en vue de la traction, car il permet d'obtenir dans un sens ou dans l'autre un certain nombre de vitesse. Son principal avantage est de supprimer l'emploi d'un train différentiel pour la marche d'un véhicule automobile dans une courbe, puisque l'armature d'un des moteurs et le champ magnétique de l'autre conduisant l'une des roues motrices ralentissent ensemble pour obtenir la réduction de vitesse désirée sur la courbe de plus faible rayon tandis que l'autre système induit et inducteur conduisant l'autre roue motrice augmente de vitesse.

(1) Brevet anglais n° 9 178, 1 figure. Déposé le 20 avril 1898, délivré le 11 mars 1899.

Digitized by Google

Les perfectionnements que M.-W. Hartnell (1) apporte aux moteurs du type cuirassé sont relatifs à leur ventilation et présentent quelques analogies avec ceux de MM. Siemens et Halske que nous avons décrits récemment (2). Le procédé de ventilation Hartnell consiste à séparer l'intérieur du moteur en deux parties réunies, par un ventilateur.

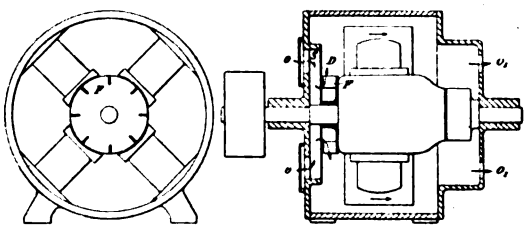


Fig. 4 et 5. — Procédé de ventilation des moteurs cuirassés de Hartnell.

Le dispositif le plus simple imaginé par M. Hartnell, identique à celui de MM. Siemens et Halske, consiste (fig. 4 et 5) à placer le ventilateur F à l'arrière de l'induit. L'air est alors puisé dans la petite chambre S, qui communique avec l'extérieur par les ouvertures *o* ménagées dans la carcasse magnétique, et est renvoyé dans la caisse D, formant le circuit magnétique inducteur du moteur, laquelle est également munie d'orifices o_1.

Le dispositif de la figure 6 diffère du précédent uniquement en ce que le ventilateur aspire l'air contenu à l'intérieur de la caisse du moteur qui communique avec le dehors par un certain nombre d'ouvertures *o* pratiquées les unes en face du collecteur et les autres dans l'axe des noyaux polaires eux-mêmes. L'air est ensuite renvoyé dans la seconde chambre D d'où il s'échappe au dehors par les orifices o_1.

Le procédé indiqué sur la figure 7 est assez différent des précédents, car il sert à établir une circulation d'air à l'intérieur de la caisse contenant le moteur. Le ventilateur F aspire l'air contenu dans l'enveloppe du moteur S et le renvoie par des tuyaux P soit sur la surface de l'induit, soit sur celle du collecteur.

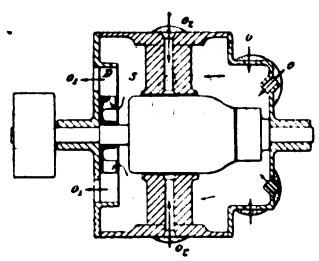


Fig. 6 et 7. — Procédé de ventilation des moteurs cuirassés de Hartnell (variante). — Ventilation par circulation de l'air à l'intérieur.

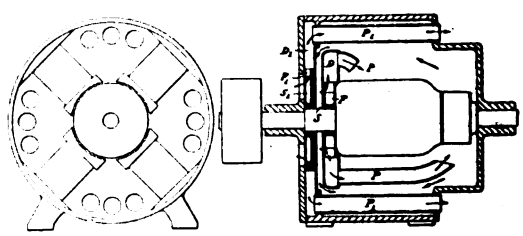


Fig. 8 et 9. — Procédé de ventilation d'un moteur cuirassé par circulation de l'air à l'intérieur et à l'extérieur, système Hartnell.

Les deux premiers procédés peuvent être combinés avec le troisième, un dispositif de ce genre est représenté sur les figures 8 et 9. Un premier ventilateur F agit comme dans le procédé de la figure 7 pour déterminer une circulation d'air à l'intérieur de la caisse du moteur. Le second ventilateur F_1 est placé dans une chambre D_1 complètement séparée de la caisse du moteur ; il aspire l'air froid du dehors pour le renvoyer dans les canaux P_1 lesquels sont ainsi refroidis et refroidissent par suite l'air circulant à l'intérieur de la caisse.

Les orifices pratiqués sur l'enveloppe du moteur peuvent être mis en communication avec l'extérieur ou avec des gazomètres spéciaux permettant d'envoyer l'air ou un autre gaz sous pression pour activer le refroidissement. Lorsque les moteurs fonctionnent dans des

(1) Brevet anglais n° 13 325, 7 figures. Déposé le 15 juin 1898, délivré le 8 avril 1899.

(2) Voir notre article : Alternomoteurs, *Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 212, 11 novembre 1899.

Digitized by Google

milieux contenant de la vapeur, de la poussière, etc., les orifices peuvent être recouverts d'une légère couche de ouate ou d'une gaze qui arrête les matières étrangères.

Les moteurs cuirassés de M. H.-W. Wilson (1) représentés en vues et coupe sur les figures 10, 11 et 12 ont une forme originale.

La carcasse magnétique est en effet formée d'un cylindre coupé en deux parties *a* et *b*

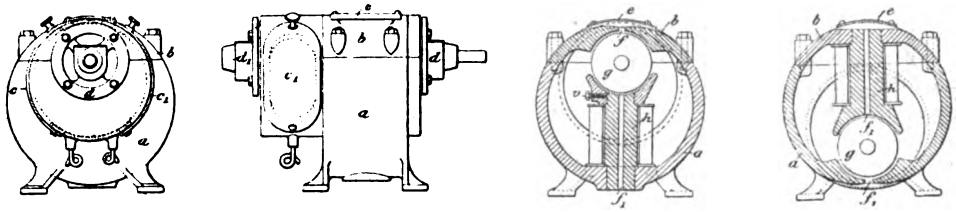


Fig. 10, 11, 12 et 13. — Vues et coupe d'un moteur cuirassé à une seule bobine magnétisante de Wilson.

par un plan parallèle à l'axe et passant par l'axe de l'induit qui est excentré par rapport à celui du cylindre, le moteur ne comportant qu'une seule bobine magnétisante.

La base du cylindre opposé au côté du collecteur est percée d'un trou circulaire d'un diamètre suffisant pour laisser passer l'induit en cas de démontage. Dans ce trou est fixé le support du palier *d*. L'autre base du cylindre est percée d'une ouverture de même diamètre que la précédente et dans laquelle s'engage une seconde caisse cylindrique c_1 dont une partie de la surface latérale est munie de deux ouvertures c_1 qui permettent d'inspecter le collecteur. A cette caisse est fixé le support du palier d_1.

Le noyau moteur unique *h* est circulaire de préférence, il porte une pièce polaire laquelle peut être enlevée facilement et est fixée après le noyau à l'aide d'une vis *v*. Le noyau polaire est percé suivant son axe d'un trou f_1 qui sert à la ventilation du moteur. La pièce polaire supérieure est constituée en deux parties réunies par une plaque métallique *e* perforée et ménageant entre elles un orifice *f* qui sert également à la ventilation.

Ce moteur de construction économique peut être disposé suivant son mode d'emploi de façon à ce que l'armature soit à la partie inférieure. La partie supérieure *b* de la caisse magnétique (fig. 13) porte alors le noyau polaire tandis que la partie inférieure *a* est fixée après le bâti ou les supports du moteur.

A part sa forme sphérique qui a du reste pour effet d'augmenter la résistance du circuit magnétique inducteur, le moteur de M. Wilson imaginé en 1882 par Mac Tighe et utilisé depuis par Staffortt et Eaves (2), ressemble au type bien connu des moteurs à une seule bobine magnétisante de Standley et Davies, Thomson-Houston, J. Farcot, etc (3).

Le type de moteur que M. R. Lundell (4) décrit dans un brevet anglais récent est à quatre pôles et à deux enroulements induits aboutissant chacun à un collecteur.

Le moteur est représenté sur les figures 14 et 15. Le champ magnétique inducteur est en tôles laminées et découpées suivant la forme indiquée sur la figure 16; ces tôles sont assemblées comme le montre la figure et fixées entre deux flasques B de forme cylindrique à l'aide de boulons F. A ces flasques sont fixées par des griffes à ressort *s*, les caisses cylindriques D supportant les paliers.

(1) Brevet anglais n°18 172, 4 figures. Déposé le 24 août 1898, délivré le 22 juillet 1898.

(2) Voir S.-P. Thomson, Machines dynamo-électriques, traduction française de E. Boistel, p. 196, Baudry, éditeur.

(3) Voir J. Fischer-Hinnen, Les dynamos à courant continu, pl. II. Fritsch, éditeur.

(4) Brevet anglais n° 7 978, 7 figures Déposé le 15 avril 1899, délivré le 29 juillet 1899. Date du dépôt du brevet américain, 18 janvier 1899.

Digitized by Google

Les bobines inductrices G sont maintenues en position par les épanouissements polaires H lesquels ont intérieurement une forme évasée et portent à la partie intérieure la plus étroite

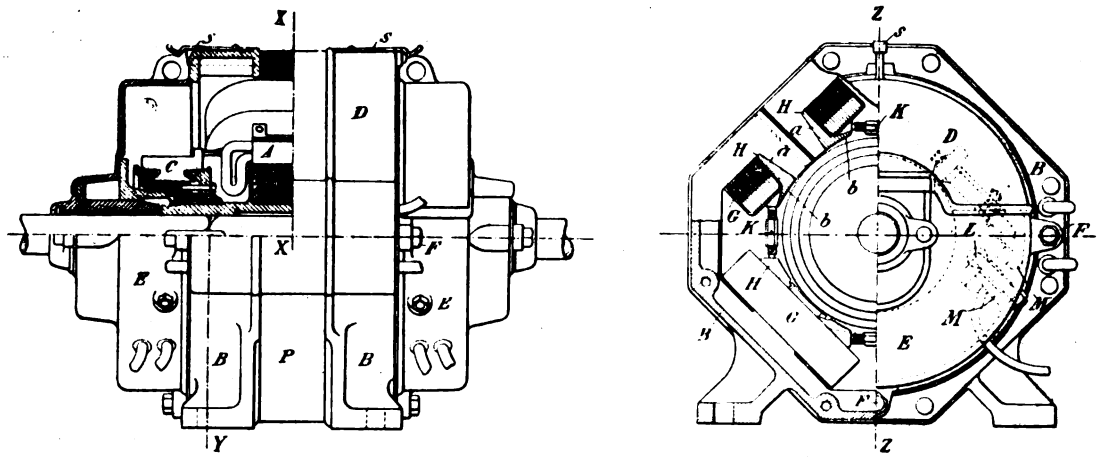


Fig. 14 et 15. — Vues et coupes d'un moteur cuirassé Lundell à quatre pôles.

des rainures *aa*. Dans ces rainures s'engagent les rebords *b* laissés sur les tôles P. Les pièces polaires formées en deux parties en forme de coins, sont maintenues en position par des sortes de petits vérins K, au nombre de deux par pièces polaires et dont les extrémités s'engagent dans des logements *c* (fig. 17 et 18) ménagés dans les cornes polaires.

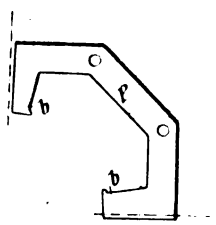


Fig. 16. — Forme des tôles d'un inducteur de moteur cuirassé Lundell à 4 pôles.

Les bobines inductrices peuvent être faites avec des dimensions intérieures un peu justes pour permettre aux pièces polaires de les embrasser étroitement après qu'elles ont été mises en place.

Les pièces polaires, en métal beaucoup moins perméable que les tôles, forment le reste du circuit magnétique de façon à ce que le flux magnétique aille en diminuant graduellement à mesure qu'on s'approche des extrémités des cornes polaires; l'entrefer est du reste légèrement augmenté au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'axe des pôles.

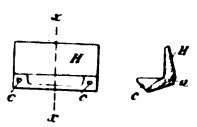


Fig. 17 et 18. — Vue et coupe d'un demi épanouissement polaire d'un moteur cuirassé Lundell à quatre pôles.

Les porte-balais employés avec ce moteur sont du même type que ceux imaginés primitivement par l'inventeur en collaboration avec M. Johnson (1); le procédé d'attache du support diffère seul. Il consiste pour le moteur actuel en un piton L fixé à la caisse E (fig. 19 et 20) à l'aide d'un écrou N et passant entre les deux nervures M et M_1. La tige V supportant le porte-balais a une section carrée et est entourée d'une gaine isolante V_1, de même forme, laquelle passe dans l'anneau à section également carrée du piton. La gaine en matière isolante est serrée entre les deux nervures de sorte qu'il suffit de la desserrer pour ajuster les balais en montant plus ou moins la tige V dans sa gaine.

Le nouveau moteur de M. Lundell appartient donc encore au type cuirassé et tous les conducteurs pénètrent à l'intérieur par des orifices pratiqués à cet effet.

(1) Voir notre article: Machines dynamo-électriques, dynamos à courant continu. *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII p. 417, 18 mars 1899.

Digitized by Google

Les perfectionnements de MM. S.-W. Maquay et P.-E. Vanderpump (1) ont pour objet la combinaison d'un moteur avec un train d'engrenage permettant de diminuer ou d'augmenter la vitesse de régime. Les variations de vitesse sont obtenues par un procédé peu recommandable, consistant à déplacer les balais sur le collecteur.

Le moteur est représenté en coupe partielle sur la figure 21; la figure 22 montre une vue avec coupe partielle du support des porte-balais.

L'induit *a* est claveté sur un arbre creux ou manchon *b* lequel porte un second manchon *b* muni du pignon *c*. C'est ce pignon qui entraîne le train d'engrenage enfermé dans la caisse *k* et formé des roues dentées $j_1 j$ et *i*, cette dernière commandant l'arbre moteur *e*.

Cet arbre tourne dans l'arbre creux et dans le même sens que ce dernier; ces deux arbres portent des bagues tronconiques *f* et *d*, les premières clavetées sur l'arbre moteur *e* et les secondes coulissant à frottement dur dans l'arbre creux. Chaque paire de bagues *d* et *f* constitue un palier à billes, celles-ci étant logées dans deux rainures pratiquées dans ce but; le jeu entre les deux surfaces frottantes est réglé en enfonçant plus ou moins les bagues *d* à l'aide des colliers à vis *g*.

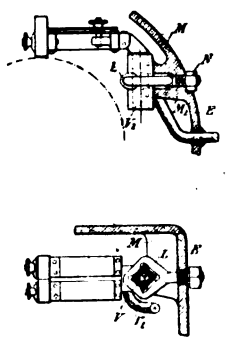


Fig. 19 et 20. — Porte-balais d'un moteur cuirassé Lundell à quatre pôles.

Les balais *n* sont naturellement en charbon, ils sont tenus dans des encoches en queue

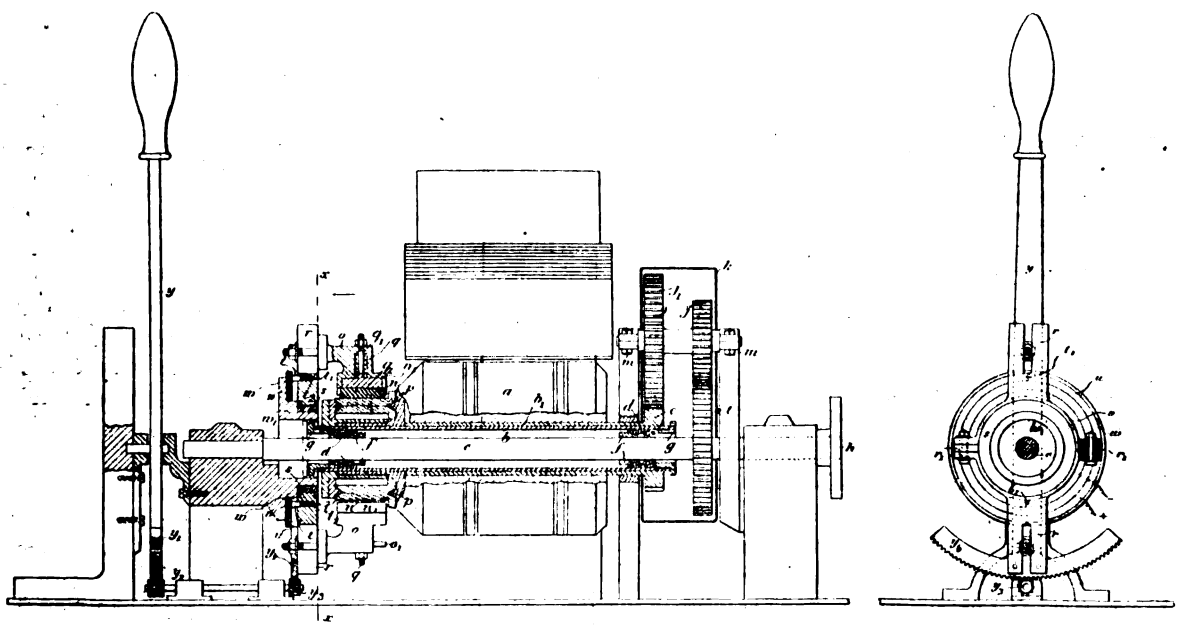


Fig. 21 et 22. — Coupe partielle et vue d'un moteur Maquay et Vanderpump avec train d'engrenages réducteur de vitesse.

d'aronde ménagées dans les porte-balais n_1 et sont pressés sur le collecteur par les ressorts *q* repoussant les blocs métalliques q_2.

Les deux supports des porte-balais *o* sont boulonnés dans des fourches *s* venues de fonte sur les deux demi-anneaux conducteurs assemblés entre eux sur un disque en matière iso-

(1) Brevet anglais n° 19 535, 2 figures. Déposé le 14 septembre 1898, délivré le 14 août 1899.

Digitized by Google

lante s et séparés par des plaques isolantes r_1. Chaque fourche r est un contact t que repousse un ressort t_1 et qui vient frotter sur l'un des deux anneaux métalliques u et v logés dans un disque en matière isolante w lequel est porté par le collier w_1 fixé au bâti du moteur.

Les deux anneaux métalliques sont en communication avec les pôles de la source d'alimentation.

Le déplacement des balais est commandé par un levier y qui porte un secteur denté y_1, lequel engrène avec le petit pignon y_2. Celui-ci transmet le mouvement à un petit arbre muni d'un second pignon y_3 engrenant avec le secteur y_4 fixé sur la fourche r inférieure.

Les variations de vitesse sont obtenues par la variation du calage des balais ; de plus le porte-balai inférieur porte un goujon o_1 qui dans son déplacement pour réduire la vitesse peut faire fonctionner un commutateur inverseur qui renverse le sens du courant dans l'induit et par suite le sens de rotation de l'appareil.

Le levier y peut également commander un dispositif permettant d'augmenter la résistance du circuit pour diminuer la tension avec la vitesse ou pour augmenter la résistance de la source, par exemple en soulevant les zincs d'une batterie de piles.

C.-F. GUILBERT.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Prix de revient de l'énergie électrique au tableau de distribution dans les stations génératrices de tramways, par **R.-W. Conant**. *Revue générale des chemins de fer et tramways*, p. 395-402, décembre 1899, d'après le *Railroad Gazette* des 30 septembre et 7 octobre 1898.

L'auteur, ingénieur électricien d'une des plus importantes compagnies de traction des Etats-Unis, la compagnie des tramways de Boston, est parvenu à se procurer les résultats d'exploitation relatifs à l'année 1897 de 44 usines génératrices représentant une puissance totale de 98 387 kilowatts.

Pour ces usines la dépense totale pour la production de l'énergie électrique a été de 9 125 000 fr. Si l'énergie avait été produite dans toutes aussi économiquement que dans quelques-unes d'entre elles, on aurait pu économiser dans l'année 2 216 500 fr. Ce résultat de ses comparaisons a conduit M. Conant à faire le calcul des prix de revient de l'énergie électrique dans une usine hypothétique, munie de tous les perfectionnements les plus récents.

La puissance admise pour cette usine-type est 3 600 kilowatts. Le bâtiment de l'usine est supposé construit en briques, ainsi que la cheminée, et sur un terrain solide. L'aménagement comprend trois machines compound à condensation de 1 200 kilowatts, faisant 80 tours par minute avec dynamos génératrices calées sur les arbres des moteurs. La vapeur est fournie par six chaudières à tubes d'eau, munies d'économiseurs et de réchauffeurs d'eau d'alimentation. Les pompes d'alimentation et les appareils pour la manutention des charbons sont mus électriquement. Le capital d'installation d'une telle usine ressort aux chiffres suivants :

Bâtiment, fondation des machines et des chaudières, cheminées, appareils de manutention des charbons	600 000	fr
Machines et condenseurs, réchauffeurs, tuyauterie	459 000	»
Pompes d'alimentation et économiseurs	90 000	»
Chaudières et tuyauterie	305 000	»
Dynamos génératrices et tableaux de distribution	369 000	»
Terrain et entrepôts	85 000	»
Frais d'étude et divers	25 000	»
Total	1 933 000	»

soit environ 535 fr par kilowatt.

En comptant l'intérêt à 6 p. 100, l'amortissement à 2 p. 100, les assurances et les impositions à 3 p. 100, soit en tout 11 p. 100 du ca-

Digitized by Google

pital, les frais annuels afférents aux charges du capital se trouvent être de 212 630 fr. La station génératrice étant supposée produire annuellement 10 500 000 kilowatts-heure (soit un tiers de l'énergie qu'elle pourrait produire en fonctionnant à pleine charge pendant 365 jours de vingt-quatre heures), cela fait 0,02025 fr par kilowatt-heure.

Pour la main-d'œuvre M. Conant suppose que le travail est établi à trois postes de huit heures. Chaque poste est composé de deux mécaniciens, un graisseur, un aide, deux chauffeurs, un manœuvre pour approcher le charbon ; en tout 7 hommes. On suppose le troisième poste complet, comme les deux premiers, en raison des travaux d'entretien, de visite et de nettoyages. Le salaire moyen est supposé de 1,35 fr par heure. La main-d'œuvre totale ressort donc à 9,45 fr par heure, soit 2,62 fr par heure et par 1 000 kilowatts de puissance. En admettant comme précédemment que le coefficient d'utilisation de l'usine est de un tiers, la dépense est de $0{,}0029 \times 3 = 0{,}0087$ fr par kilowatt-heure produit (1).

En ce qui concerne le combustible M. Conant admet que l'on brûle des déchets bitumineux à 16,5 fr la tonne, donnant 1 kilowatt-heure au tableau pour une consommation de 0,9966 kgr. La dépense correspondante est donc de 0,165 fr par kilowatt-heure produit (2).

Les dépenses d'eau, de graissage, d'entretien, de fournitures diverses, de direction, de frais généraux sont évaluées à 0,00465 fr par kilowatt-heure.

Les frais de production du kilowatt-heure seraient donc de :

Charges du capital d'établissement	0,02025 fr
Main d'œuvre	0,00785 »
Combustible.	0,0165 »
Divers.	0,00465 »
Total	0,04925 »

soit à peu près 0,05 fr par kilowatt-heure.

(1) M. Conant donne un diagramme accompagné d'une table de réduction qui permettent d'évaluer rapidement la dépense de main-d'œuvre par kw-h en admettant diverses valeurs du coefficient d'utilisation de l'usine et divers prix des heures de main-d'œuvre.

(2) Un diagramme donné par l'auteur permet de trouver la dépense pour diverses valeurs de la tonne de combustible et de la consommation de vapeur des machines.

Les tableaux I et II donnent les résultats d'exploitation d'un certain nombre de stations génératrices. On a rapproché de ces résultats les chiffres d'évaluation de la station-type T.

La station n° 3 diffère de la station-type sur les points suivants. Elle n'a que deux unités au lieu de trois. Chaque groupe est de 800 kilowatts, soit moitié environ de la puissance des groupes de la station-type. Les dynamos sont calées sur les arbres des moteurs, et ces derniers sont du même type que ceux de la station-type. L'usine comprend trois chaudières à tubes d'eau avec économiseurs et réchauffeurs. Le nombre d'hommes par 1 000 kilowatts est sensiblement le double, dans la station n° 3, de celui qui est indiqué pour la station-type. — Les résultats du mois de janvier montrent pour cette station l'influence du coefficient de charge moyenne, qui abaisse la dépense de main-d'œuvre par kilowatt-heure au-dessous du chiffre indiqué pour la station-type, malgré l'élévation du nombre d'hommes par 1 000 kilowatts. La dépense de combustible n'est pas diminuée dans la même proportion. Cela tient à ce que la station est reliée à d'autres stations, qui corrigent les fluctuations de charge. On trouve même que la dépense de combustible est moins élevée pour le mois de septembre, dans lequel le coefficient de charge moyenne est inférieur. Cela tient à un meilleur rendement de la station et vraisemblablement à ce que les chaudières n'ont pas été forcées.

La station n° 2 est un peu plus importante ; elle comprend deux groupes de 1 000 kilowatts analogues à ceux de la station-type. L'accroissement du nombre d'hommes par 1 000 kilowatts de puissance, comparativement à la station-type, est la cause de l'élévation du prix de revient du kilowatt-heure. Cet accroissement tient à ce que la station n° 2 est moins importante que la station-type. En rapprochant pour cette station les résultats de janvier et de septembre on voit l'influence du coefficient de charge moyenne.

La station n° 4 donne l'exemple d'une station très importante. Elle comprend six groupes électrogènes de 1 200 kilowatts, avec moteurs à triple expansion, deux groupes électrogènes de 1 500 kilowatts avec moteur compound, et une station auxiliaire composée de 40 dynamos de 62 kilowatts, commandées par courroies par des

****

Digitized by Google

TABLEAU I. — *Frais annuels d'exploitat*

NUMÉROS DES STATIONS	T	1	2	3	4	5	6	T
Puissance totale en 1 000 kwts.	3,6	0,6	2	1,6	12,68	2,38	0.744	3.
TYPE :								
Nombre de moteurs	3	3	2	2	8	2	4	3
Nombre de dynamos génératrices	3	3	2	2	8	7	12	3
Nombre de moteurs par 1 000 kw	0,83	5	1	1,25	0,63	0,84	5,4	0,8
— de dynamos génératrices par kw.	0,83	5	1	1,25	0,63	2,94	16,2	0,8
Dynamos calées sur l'arbre (A) ou commandées par courroies (B)	A	A	A	A	A	B	B	A
Moteurs à simple expansion (S) compound (C) à triple expansion (T)	C	C	C	C	CT	T	S	C
Moteurs sans condensation (N) ou à condensation (C).	C	C	C	C	CT	C	N	C
Nombre de jours de marche considérés	365	365	343	365	365	365	365	31
	1897							
COEFFICIENT DE CHARGE MOYENNE :								
Coefficient de chaque station	33 1/3	22,3	33,6	46,4	34,8	52,2	47	33 1/
Rapport p. 100 au coefficient de la station type. .	.....	67	101	139,5	104	157	141	.....
MAIN-D'ŒUVRE. FRAIS EN CENTIMES :								
Nombre de postes.	3	3	3	3	3	3	3	3
Durée des postes	8	8	8	8	8	8	8	8
Nombre d'heures de postes.	8 760	8 760	8 232	8 760	8 760	8 760	8 760	744
— d'hommes par 100 kw-heure	1,94	4,67	2,91	2,36	1,9	4,79	5,95	1,94
Taux de salaire	135	134	129	129	143	143	127	135
Dépense de main-d'œuvre par kw-h.	0,785	2,80	1,165	0,935	0,780	1,215	1,605	0,7
Rapport p. 100 de la dépense de main-d'œuvre à la dépense totale.	27	46,7	32,5	29,4	61,6	25,7	29,1	27
Rapport p. 100 de la dépense par kw-h à la dépense dans la station-type.	.....	356	142	219	99,1	154	204	.....
COMBUSTIBLE. FRAIS EN CENTIMES :								
Consommation en kgr par kw-h.	1,00	1,44	1,12	1,18	1,30	1,47	1,87	1,00
Prix par tonne en francs.	16,5	14,4	14,5	14,4	15,0	14,4	16,0	16,5
Nature du combustible, (A) anthracite, (B) bitumineux	B	0,3 A 0,7 B	0,25 A 0,75 B	0,3 A 0,7 B	B	0,2 A 0,8 B	B	B
Dépense par kw-heure.	1,65	0,207	1,625	1,700	1,945	210	2,995	1,65
Rapport p. 100 de la dépense de combustible à la dépense totale.	57	34,5	47,4	51,6	55,2	49,7	54,3	57
Rapport p. 100 de la dépense par kw-heure à la dépense de la station-type	.....	125,5	98,5	103	117,5	127	182	.....
ENTRETIEN ET DIVERS :								
Dépense par kw-heure.	0,465	1,125	0,690	0,660	0,795	0,910	0,910	0,4
Rapport p. 100 à la dépense totale	16	18,8	20,1	20	22,6	21,6	16,5	16
Rapport p. 100 à la dépense de la station-type. .	.....	242	148	142	171	196	196	.....
DÉPENSE TOTALE DE PRODUCTION :								
Dépense par kw-heure.	2,90	5,990	3,430	3,295	3,720	4,075	5,510	2,9
Rapport p. 100 à la dépense de la station-type. .	.....	205	118	114	112	146	190	.....
CHARGES FIXES								
Dépense par kw-heure.	2,025	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2,02
Rapport p. 100 à la dépense totale.	70	.....	.....	.....	.....	.....	.....	70
Rapport p. 100 à la dépense de la station-type. .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Total général.	4,925							4,9

Digitized by Google

uelques stations génératrices.

	2	3	4	5	6	T	1	2	3	4	5	6
,6	2	1,6	12,68	2,38	0,744	3,6	0,6	2	1,6	12,18	2,38	0,744
3	2	2	8	2	4	0,3	3	2	2	8	2	4
3	2	2	8	7	12	0,3	3	2	2	8	7	12
5	1	1,25	0,63	0,84	5,4	0,83	5	1	1,25	0,63	0,84	5,4
5	1	1,25	0,63	2,94	16,2	0,83	5	1	1,25	0,63	2,94	16,2
A	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	B	B
C	C	C	CT	T	S	C	C	C	C	CT	CT	S
C	C	C	CT	C	N	C	C	C	C	CT	CC	N
31	31	31	31	81	31	30	30	30	80	30	30	30
	SEPTEMBRE 1897						JANVIER 1897					
30	50.6	58,6	46,4	64	48,4	33 1/3	17,7	28	43,2	27,6	42,6	43
90	152	176	140	140	145,5	.....	53,2	84	130	83	128	129
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
11	744	744	744	744	744	720	720	720	720	720	720	720
,66	2,95	3,24	1,93	4,93	6,36	1,94	4,94	3	3,8	1,77	4,5	6
33	131	125	145	129	128	135	125	128	122	142	138	120
,05	0,705	0,690	0,605	0,990	1,680	0,785	3,75	1,365	1,075	0,910	1,460	1,690
41	27,2	23	18,3	26,8	27,7	27	51,4	40,6	32,5	25,9	31,8	31,7
61	97,4	88	77	127	214	.....	448	174	137	116	186	215
,39	1,07	1,20	1,29	1,45	2,15	1,00	1,49	1,06	1,12	1,29	1,49	1,83
81	14,6	14,0	15,8	14,9	16,9	16,5	13,6	14,1	13,9	13,4	14,1	13,4
3 A	0,25A	0,3A	B	0,2A	B	B	0,3A	0,25A	0,3A	B	0,2A	B
7 B	0,75B	0,7B		0,8B			0,7A	0,75A	0,7B		0,8B	
,105	1,565	1,685	1,975	2,150	3,645	1,65	2,045	1,495	1,570	1,725	2,115	2,470
52	55,6	56,4	59,9	58,4	60,1	57	29,8	44,3	47,5	48,8	46,1	46,4
25,5	94,5	102	120	130	220	.. ..	124	91	95	104	128	140,5
,860	0,4875	0,615	0,720	0,545	0,735	0,465	1,290	0,510	0,665	0,880	1,015	1,165
17	17,2	20,6	21,81	14,8	12,2	16	18,8	15,1	20	25,1	22,1	21,9
185	105	132	155	117	158	.....	278	110	143	189	218	250
,015	2,815	2,990	3,30	3,685	6,060	2,90	6,860	3,355	3,310	3,515	4,590	5,325
2,5	97	103	114	127	208	.....	236	116	114,5	121	157	184
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2025	.....	.....	.....	.....	.....	.....
...	.....	.....	.....	.....	.....	.....	70	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
							4.925					

Digitized by Google

TABLEAU II. — *Frais annuels d'exploitation*

NUMÉROS DES STATIONS	T	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	23	25
Puissance en 1 000 kwts.	3,6	4	1,4	1,0	2,6	1,6	1,6	1,6	0,8	0,4	3,0	0,6	4,0
TYPE :													
Nombre de moteurs	3	2	5	3	4	4	10	8	2	2	6	3	10
id. de dynamos génératrices	3	2	8	7	4	4	16	8	4	3	6	3	19
Dynamos calées sur l'arbre (A) ou commandées par courroies (B).	A	A	B	B	A	BA	B	B	B	B	A	B	B
Moteurs à simple (S) double (C) ou triple (T) expansion	C	S	S	C	S	SC	SC	C	C	S	.....	C	S
Moteurs sans condensation (N) ou à condensation (C)	C	N	N	C	N	NC	NC	C	C	N	.....	C	N
Nombre de jours de marche considérés	365	1	365	365	365	365	183	365	315	365	31	183	365
Coefficient de charge moyenne .	33 1/3	24	23	23	42	19	41	33	24	.....	.....	16	33
MAIN D'ŒUVRE :													
Nombre de postes	3	.....	2	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2
Durée des postes.	8	.....	12	12	12	12	12	8	12	12	12	12	12
Nombre d'heures d'équipe . . .	8,760	»	8,760	8,760	8,760	8,760	4,380	8,760	8,760	8,760	744	4,380	8,760
id. d'hommes par 1 000 kwts de puissance.	1,94	7,5	3,7	3,7	3,0	1,87	6,3	3,7	3,7	3,7	3,0	3,3	.....
Taux de salaire moyen (francs) .	1,35	0,90	1 »	1 »	1,10	0,75	0,80	1 »	0,90	0,60	0,85	1,25	.....
Dépense en centimes par kwt . .	0,785	.....	1,60	1,55	0,80	.....	1,25	1,15	1,40	.....	.....	2,55	.....
COMBUSTIBLES :													
Consommation en gr. par kwts .	1 »	.....	3,04	1,95	2,94	.....	2,94	2,26	2,26	.....	.....	2,72	2,34
Prix du charbon par tonne en fr.	16,5	11,0	12,3	16,1	07,9	.....	11,6	18,1	7,8	4,1	3,3	18,9	5,8
Nature du charbon (A) anthracite (B) bitumineux.	B	5 A 5 B	A	B	B	.....	B	B	B	B	.....	B	.....
Dépense par kwt, en centimes. .	1,65	.....	3,75	3,15	2,35	.....	3,40	4,15	1,80	.....	.....	5,15	1,45
Dépenses diverses par kwt en centimes	0,465	.....	1,65	0,55	0,45	.....	0,70	0,45	0,30	.....	.....	0,80	.....
Dépense totale de production par kwt en centimes	2,90	7,5	7,0	5,25	3,60	.....	5,35	5,75	3,50	.... .	8,40	8,5	2,80
Charges fixes en centimes. . . .	2,025	.....	.....	2,20	1,20	.....	1,20	.....	.....	.....	.....	5	.....

moteurs compound sans condensation. On n'a recours à cette station auxiliaire qu'en cas de nécessité. Les chiffres donnés dans le tableau pour les moyennes actuelles se rapprochent pour la station n° 4 de ceux de la station-type. Ils n'en diffèrent pas parce que l'importance des unités ne diffère pas notablement. Les dépenses diverses sont élevées en raison des dépenses d'entretien. La station avait en 1897 huit années d'existence et il a fallu remplacer des organes hors d'usage. La dépense élevée de combustible paraît tenir aux chaudières, qui sont déjà anciennes.

La station n° 5 a ses dynamos génératrices commandées par courroies. Sa puissance totale dépasse un peu la moitié de la puissance totale de la station-type. Elle comprend 7 dynamos de 340 kw et 3 moteurs à triple expansion. Malgré l'élévation du coefficient de charge moyenne pour l'année entière qui atteint 52 p. 100 la dépense de main-d'œuvre est encore supérieure à celle de la station-type. Dans le mois le plus chargé, l'élévation du coefficient de charge moyenne, qui est de 64 p. 100 a pour effet de réduire les dépenses diverses et de main-d'œuvre.

Digitized by Google

quelques stations génératrices.

26	28	29	30	31	32	33	34	35	37	40	42	43	44	45	47	48
›,8	1,4	1,9	1,7	0.9	5.3	1,5	2,0	1,2	1,5	9,2	1,8	3,3	6,0	1,0	0,75	0,6
7	4	5	5	3	5	4	4	1	3	6	3	5	6	4	4	4
12	8	5	5	3	30	12	4	1	11	6	6	10	12	7	4	2
B	B	B	B	B	B	BA	A	A	B	A	BA	A	B	BA	A	A
S	S	C	C	C	C	C	C	C	CS	C	C	C	C	C	C	C.
N	C	C	C	C	C	C	C	C	CN	C	N	C	C	C	C	C
165	31	365	365	365	365	365	183	365	151	365	365	365	365	30	183	365
19	23	27	23	32	31	16	57	37	11	36	45	15	30	28	20	25
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	2	2
12	12	10	10	10	12	12	12	12	12	8	8	12	8	10	12	10
,760	744	7,300	7,300	7,300	8,760	8,760	4,392	8,760	3,624	8,760	8,760	8,760	8,760	600	4.380	7,300
....	5,0	3,2	3,0	4,5	3,5	5,0	5,0	2,1	8,0	2,7	5,0	3,7	3,3	3,0	8,0	6,7
....	0,85	1,05	1,05	1 »	1 »	1 »	1 »	1,30	0,80	1,15	1,30	0,80	1,20	0,75	0,60	0,75
....	1,85	1,25	1,45	1,45	1,15	3,10	0,90	0,75	5,5	0,85	1,45	1,95	1,30	0,80	2,05	1,45
,08	3,24	1,81	1,53	1,99	1,62	1,99	2,45	2,17	3,30	1,36	2,58	1,67	1,59	2,13	1,31	1,49
5.3	9,0	15,4	16,5	15,6	16,5	16,9	5,5	6,8	9,6	8,8	8,8	14,9	8,8	10,4	11,6	15,1
....	.....	.....	B	B	B	B	B	B	5A5B	A	A	6B4A	A	B	5A5B	B
,95	2,85	» 75	2,45	3,10	2,60	3,30	1,35	1,45	3,15	1,20	2,25	2,50	1,40	2,25	2,70	2,10
....	0,40	0,75	1,15	0,95	0,45	1,10	0,60	0,20	0,60	0,55	0,90	0,70	0,75	0,25	1,05	1,40
5,0	5, 10	4,55	1,15	5,5	4,20	7,5	2,85	2,40	9,25	2,60	4,60	5,15	3,45	3,30	5,80	5,25
....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

La station n° 1 est de très petite importance. Elle produit l'énergie nécessaire au service de 30 voitures et comprend trois groupes électrogènes de 200 kilowatts avec moteurs compound à condensation ; elle possède des réchauffeurs, mais pas d'économiseurs. La station fonctionne isolément et sous des charges très variables. Sa puissance est à peu près exactement le sixième de la puissance de la station-type, et le tableau I montre que les dépenses de production d'énergie sont à peu près doublées. Le gros accroissement de dépenses concerne la main-d'œuvre : le taux de salaire est à peu près le même que la station-type, et le coefficient de charge moyenne est de 22 p. 100 au lieu de 33 p. 100 ; mais le nombre d'hommes par poste et par 1 000 kilowatts de puissance est de 2,5 fois plus grand, par suite de la faible importance de la station. Le premier poste comprend deux mécaniciens et un chauffeur ; le second, un mécanicien, un graisseur et un chauffeur ; le troisième, un mécanicien et un chauffeur. Le même personnel pourrait desservir une station de plus grande puissance.

Digitized by Google

La station n° 12 (tableau n° 2) a une puissance égale à peu près au tiers de la puissance de la station-type. Les dynamos génératrices sont commandées par courroies par trois moteurs-tandem compound à condensation. Les chaudières à tubes d'eau, ayant quatre ans de service sont pourvues de réchauffeurs, mais non d'économiseurs ; on y brûle un charbon de bonne qualité valant 16,1 fr la tonne. Le prix de revient du kilowatt-heure, y compris les dépenses fixes, est de 0,0645 fr notablement plus élevé que celui de la station-type. Ce sont surtout les dépenses de main-d'œuvre et de combustible qui élèvent ce prix de revient.

La station n° 13, qui a le charbon très bon marché, est pourvue de moteurs sans condensation avec dynamos calées sur l'arbre. Sa puissance représentant 70 p. 100 de la puissance de la station-type est constituée pour la majeure partie par des groupes de 800 kilowatts. Son coefficient de charge moyenne est de 42 p. 100 et elle produit le kilowatt-heure à 0,0480 fr, y compris les charges fixes ; l'amortissement est compté à 5 p. 100 sur un capital d'établissement d'environ 300 fr par kilowatt. La dépense de main-d'œuvre est la même que pour la station-type, en raison de l'élévation du coefficient de charge moyenne. La station n° 13 fournit l'énergie à un réseau sur lequel la dépense par véhicule-kilomètre est de 1,3 kilowatt-heure, le nombre de véhicules-kilomètres a été en 1897 de 7 207 308.

La station n° 15 donne un exemple du résultat auquel conduit, pour la dépense de main-d'œuvre, la multiplicité des unités. Le nombre d'hommes par 1 000 kilowatts de puissance est de 6,3.

La station n° 35 est intéressante parce qu'elle a toute sa puissance de 1 200 kilowatts dans une seule unité. Elle exige 2,1 hommes par 1000 kilowatts de puissance. Son prix de revient est un peu inférieur à celui de la station-type.

La station n° 37, qui a une puissance légèrement supérieure à celle de la station n° 35, se compose de 3 moteurs et de 11 dynamos génératrices. Son service demande 8 hommes par 1 000 kilowatts de puissance. Pour cette station, le coefficient de charge moyenne est seulement de 11 p. 100 pendant 151 jours du 1er janvier au 31 mai. L'influence de ce faible coefficient est manifeste sur la dépense main-d'œuvre par kilowatt-heure.

La station n° 42 a des moteurs compound sous condensation commandant par courroies les génératrices. Elle a un coefficient de charge moyenne élevé (45 p. 100). Mais l'influence de la commande par courroies, et de la multiplicité des unités se fait sentir sur les dépenses de production.

La station électrique de Promontor, par **E. Pick**. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVII, p. 505. 1er octobre 1899.

La ville de Promontor située à 10 km de Budapesth, est un centre important de consommation d'énergie, quoiqu'elle n'ait que 6000 habitants. C'est là en effet qu'est surtout concentré le grand commerce de vins de la Hongrie, et les immenses caves nécessitent un long éclairage et une force motrice importante pour la commande des pompes. La Société d'électricité, autrefois Egger et Cie, a installé au centre de la ville une usine génératrice de courant continu à trois fils.

Le bâtiment des chaudières a une superficie de 193 m² : deux chaudières de 65 m² de surface de chauffe sont en fonctionnement ; une troisième de 130 m² est projetée. La salle des machines a une surfece de 234 m² et contient deux groupes de 80 chevaux en fonctionnement ainsi que l'emplacement d'une troisième de 150 chevaux. A côté des machines, se trouve une salle d'accumulateurs de 40 m². Enfin la cheminée située derrière la salle des chaudières a 36 m de haut et 1,35 m d'ouverture au sommet : elle est suffisante pour 300 chevaux.

Quoique la station ne soit qu'à 100 m du Danube, l'eau du sol est beaucoup trop crue pour pouvoir servir à l'alimentation des chaudières. L'eau est donc amenée de la rivière dans une citerne au moyen d'une pompe placée dans cette dernière. La conduite d'eau commence à une profondeur de 2 m au-dessous de la surface : un crible en fonte est fixé à l'ouverture de cette conduite et fixé solidement sur pilotis au moyen de chaînes. La conduite se compose de tubes de 3 à 4 m de long et de 175 mm de diamètre, asphaltés à l'intérieur et à l'extérieur.

Elle débouche sur la rive dans une citerne par une soupape à clapets ; là l'eau dépose la vase et est amenée par une seconde conduite dans une seconde citerne située à 4 m au-dessous de

Digitized by Google

la salle des chaudières. Une pompe à vapeur avec volant, ayant un cylindre à vapeur de 250 mm, un corps de pompe de 200 mm, une course de 250 mm fournit 850 litres d'eau par minute. L'eau arrive dans une seconde citerne après avoir traversé un filtre : là les condenseurs à injection viennent la puiser. L'eau chaude des condenseurs arrive dans un réservoir à quatre compartiments reliés de telle sorte que seule la couche d'eau inférieure de l'un arrive dans l'autre : l'huile surnage forcément tandis que l'eau purifiée du réservoir infé-

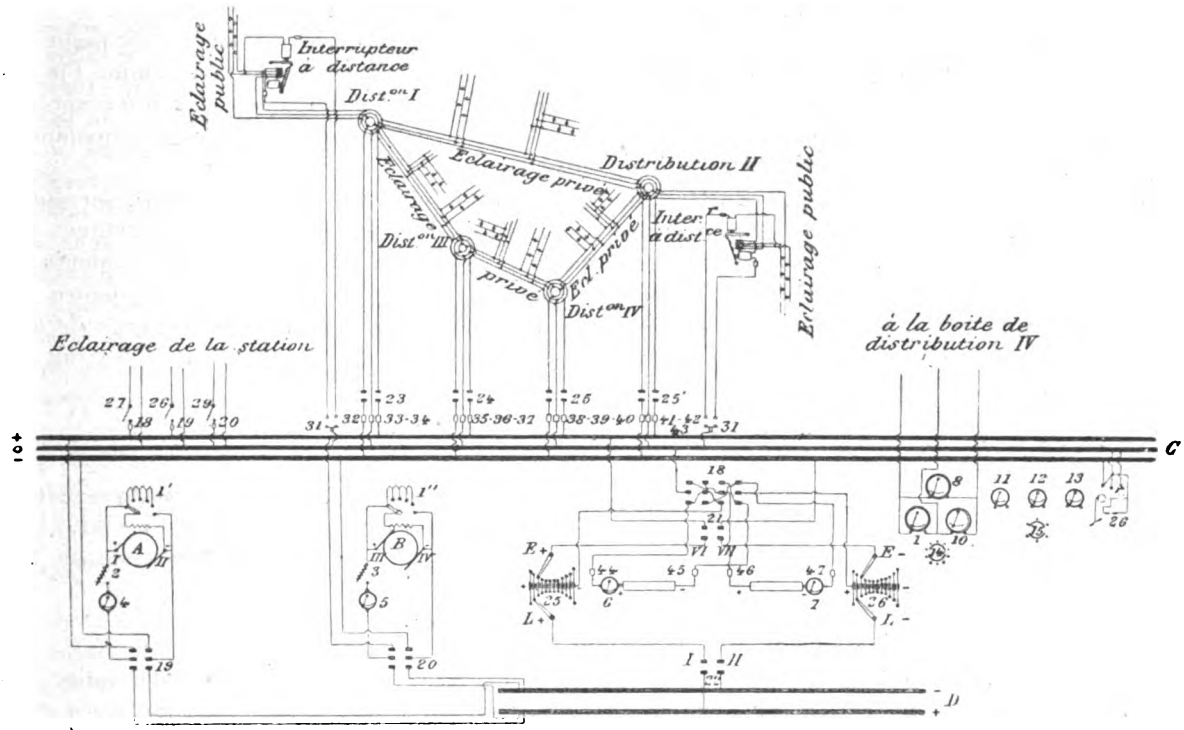


Fig. 1. — Station de Promontor : Schéma de la distribution,

1, 1'' Rhéostats de champ. — 2. 3 Coupe-circuits automatiques de 200 ampères. — 4, 5 Ampèremètres de 250 ampères. — 6, 7 Ampèremètres de 125 ampères (zéro au milieu). — 8 Voltmètre de contrôle (600 volts). — 9, 10 Voltmètre de contrôle (300 volts). — 11, 12, 13 Voltmètre de 600 volts. — 14 Commutateur des *voltmètres : 5 touches*. — 15 *Commutateur : 3 touches* — 16, 17 Indicateurs de terre. — 18 Commutateur tétrapolaire pour trente ampères. — 19, 20 commutateur bipolaire pour 125 ampères. — 21, 22, 23 Interrupteur bipolaire de 125 ampères. — 25, 25' Interrupteur bipolaire de 60 ampères. — 26, 26' Réducteur à 29 plots. — 27, 28, 29 Interrupteurs unipolaires. — 30, 31 Commande à distance d'interrupteurs. — 32, 33, 34, 35, 36, 37, 44, 45, 46, 47 Coupe-circuits de 125 ampères. — 38, 39, 40, 41, 42, 43 Coupe-circuits de 60 ampères. — 48, 49, 50 Coupe-circuits de 10 ampères. — A,B Dynamos 50 kw, 300-480 volts. — C Rails de distribution. — D Rails de charge.

rieur est puisée par les pompes d'alimentation. L'eau en excès est rejetée au Danube par une seconde conduite.

Les générateurs sont du système Bano et Szuts. Chaque chaudière a 36 tubes de 5 m de long et 100 mm de diamètre. La pression est de 10 atmosphères. Il y a pour chaque chaudière un réchauffeur de 25 m² que l'on peut supprimer au moyen d'une soupape. L'eau d'alimentation est puisée par les pompes dans le réservoir à eau chaude et traverse un réchauffeur de 25 m², chauffé par la vapeur d'échappement des pompes.

Les deux machines verticales compound de 75 et 80 chevaux effectifs, tournent à 200 t : m et ont des cylindres de 300 et 450 mm, une course de 300 mm. La consommation garantie à pleine charge est de 7,4 kilos de vapeur par cheval-heure, sous une pression de 10 atmosphères et en marchant à condensation. A charge constante, la vitesse moyenne ne doit pas varier de plus de 0,5 p. 100; le coefficient de régularisation doit être au plus de $\frac{1}{150}$. Pendant une décharge brusque de la pleine à la mi-charge, l'emballement doit être inférieur à 2,5 p. 100

Digitized by Google

et de la pleine charge à la marche à vide inférieur à 4 p. 100.

Les machines actionnent par courroies deux dynamos shunt à 4 pôles de 50 kilowatts et de 300 à 480 volts; la tension est de 300 à 340 volts quand elles travaillent sur les barres extrêmes du tableau et de 370 à 480 volts pour la charge des accumulateurs.

Le tableau de distribution contient au milieu l'appareillage des deux dynamos et la place nécessaire pour une troisième. Le panneau de gauche du tableau contient les appareils pour accumulateurs; on y remarque entre autres un commutateur à 4 pôles pour intervertir les ponts desservis par chaque demi-batterie; on évite ainsi, dans le cas de charges inégales, que l'une des deux batteries soit constamment plus chargée que l'autre. Mais les éléments de réduction desservent constamment leurs ponts respectifs; si en effet, on pouvait interchanger entièrement les deux demi-batteries, on ne pourrait pas opérer cette manœuvre pendant la charge des accumulateurs.

Le panneau de droite du tableau contient les appareils de distribution. Un voltmètre de contrôle sert à vérifier la tension en un point du réseau; un indicateur de terre donne l'isolement du réseau, enfin il y a des interrupteurs de feeders et des interrupteurs commandés à distance.

Les accumulateurs système Pollak servent à équilibrer les ponts et à les alimenter aux heures de faible charge. Les 56 éléments de réduction ont 165 à 230 ampères-heure de capacité pour des régimes de décharge de une à trois heures, les 130 éléments fixes ont de

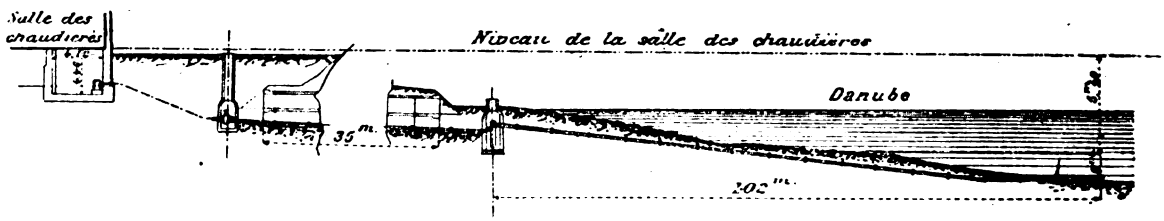


Fig. 2. — Canalisation hydraulique.

99 à 135 ampères-heure de capacité pour des régimes de décharge de trois à dix heures. Ils sont contenus dans des bacs plus grands qu'il n'est nécessaire, afin de permettre une extension par l'addition de plaques.

La canalisation est alimentée par 4 feeders. Les extrémités des feeders sont reliées par des lignes de distribution et d'égalisation qui, dans le cas de charges inégales, égalisent la tension aux extrémités de tous les feeders; il suffit donc de maintenir la tension constante à une extrémité. Chaque feeder est terminé par trois bagues d'où partent les conducteurs. Deux des boîtes de distribution alimentent le réseau d'éclairage public, composé de 150 lampes de 16 bougies. Deux interrupteurs commandés du tableau par un solénoïde permettent d'ouvrir ou de fermer ces circuits.

Comme la ville de Promontor a aussi un réseau téléphonique, il y a beaucoup de croisements. Les fils se croisent autant que possible à angle droit : les conducteurs de lumière situés au-dessus sont protégés par des filets zingués; les conducteurs de lumière croisant par en dessous sont protégés par des tubes isolants; en outre les stations téléphoniques et la station d'éclairage sont pourvues de coupe-circuits.

Les canalisations ont une longueur de fil de 60 km; on a compté 10 p. 100 de perte dans les feeders et de 2 à 3 p. 100 dans les distributeurs, ce qui donne 8 kg de cuivre par hectowatt.

La station a été inaugurée le 2 mai 1898 et a desservi dès le début environ 1 000 lampes et 10 moteurs actionnant des pompes à vin et des moteurs divers. Les installations dans les caves ont été faites avec un soin particulier pour éviter les dégradations par l'humidité. Les conducteurs sont fixés aux isolateurs et protégés par une couche de vernis contre l'oxydation. Des électromoteurs d'un demi-cheval tournant à 750 t : m actionnent les pompes à vin centrifuges; un rhéostat de champ permet de réduire la vitesse de moitié pour le passage du vin sur filtres. Une pompe débite 60 hectolitres par heure à 3 ou 4 m de hauteur.

E. B.

Digitized by Google

Nouveaux enroulements triphasés, par **Giovanni Ossanna**. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVII, p. 347-367. Communication faite au Congrès électrotechnique de Vienne.

Ces nouveaux enroulements, brevetés par la Société Siemens et Halske, de Vienne, sont obtenus par une série de connexions, que l'on peut réaliser avec tout enroulement de machine à courant continu.

Nous ne donnerons pas ici toutes les connexions exposées par l'auteur ; il est facile d'en combiner un grand nombre lorsqu'on connaît le principe général.

Si nous considérons un enroulement fermé de machine à courant continu, chaque fil produit une force électromotrice alternative, dont la courbe n'est pas sinusoïdale, mais correspond à la répartition du champ. Comme les barres ou fils sont répartis uniformément autour de l'induit, chaque barre aura à chaque instant une autre position par rapport aux pôles. Pour en déduire la phase correspondante à chaque barre il faut se représenter une distribution sinusoïdale du champ dans l'entrefer, ainsi que l'indique la figure 1, où la zone AB montre la disposition régulière des barres autour de la surface de l'induit.

Si nous divisons cet enroulement en 6 p

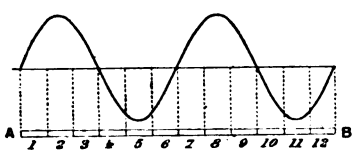


Fig. 1.

parties égales, (fig. 1, en 12 parties, car $p = 2$) où p indique le nombre de paires de pôles, on obtient des groupes de barres, de telle sorte que chaque groupe pris dans son ensemble produise une force électromotrice décalée de 60° sur les forces électromotrices produites par les groupes voisins.

On voit que l'on obtient autant de phases que de groupes, mais ce nombre peut toujours être ramené à 6, car (voyez fig. 1) la même phase se reproduit tous les 6 groupes.

On pourra donc couper tout enroulement de machine à courant continu à $2a$ circuits parallèles en $6a$ points, et obtenir $6a$ circuits de barres, de telle sorte que dans chaque circuit, on ait sensiblement le même nombre de barres et des conducteurs de même phase.

On peut voir (fig. 2 à 5), les lettres employées pour indiquer les points où l'enroulement est coupé.

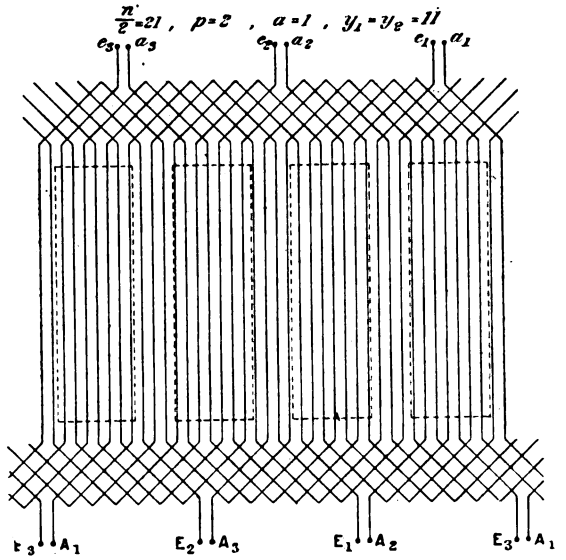


Fig. 2.

La figure 2 représente le schéma d'une machine à quatre pôles avec enroulement en série, ($a = 1$, c'est-à-dire avec deux circuits parallèles) et où le nombre des conducteurs n est divisible par $6a$, ici 6.

La figure 3 montre la division en 6 phases d'un enroulement de machine à courant continu à 8 pôles avec $a = 2$, c'est-à-dire avec 4 circuits parallèles.

Enfin la figure 4 représente l'enroulement d'une machine à 4 pôles avec 2 enroulements séparés, l'un est coupé en 6 points, A_1, A_2, A_3, a_1, a_2, a_3, l'autre est muni d'un collecteur ; les points 1, 2, 3, I, II, III sont des points d'égal potentiel avec les points de coupure de l'enroulement ouvert.

Comme chaque phase produit une force électromotrice qui est décalée de 60° sur les forces électromotrices des phases voisines et comme toutes ces tensions sont égales on peut les représenter par les côtés d'un hexagone régulier (fig. 5).

Une semblable représentation n'est pas tout à fait exactes, car la répartition du champ n'est jamais sinusoïdale, mais elle est très utile pour

Digitized by Google

comprendre rapidement les différentes connexions que nous allons décrire.

Premier groupe de connexions. — Ce groupe comprend les connexions qui ont pour but de faire d'un enroulement de machine à courant continu un enroulement de machine à courant triphasé, ayant une tension différente de la tension continue.

Les figures 6 et 7 représentent les connexions, que l'on peut réaliser en coupant un enroulement fermé en trois points I, II, III. Dans la figure 6 les extrémités des 3 phases E_1, E_2 et E_3 sont réunies au point o, les commencements A_1, A_2 et A_3 sont les départs des lignes triphasées; dans ce cas la tension triphasée est $\sqrt{3}\,E$, si E est la tension que l'on pouvait obtenir avec l'enroulement fermé.

Dans la figure 7 on relie E_3 avec n_1, E_1 avec n_2 et E_2 avec n_3, ou n_1, n_2 et n_3 représentent trois points pris sur les trois phases à égale distance de A_1, A_2 et A_3. Par cet artifice il est possible d'obtenir deux tensions avec une seule machine, tensions qui sont proportionnelles aux droites $\overline{A_1A_2}$ et $\overline{E_1E_2}$. La basse tension peut être utilisée pour l'éclairage, la haute tension pour le service des moteurs.

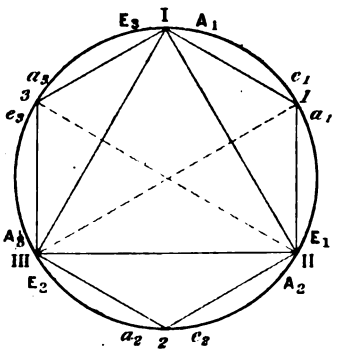


Fig. 5.

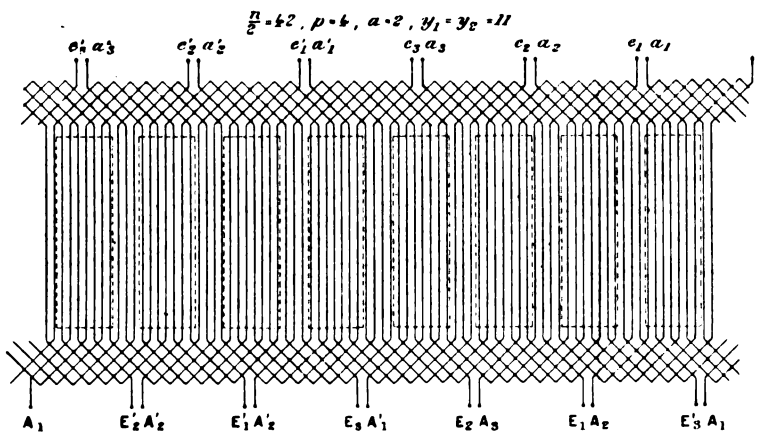


Fig. 3.

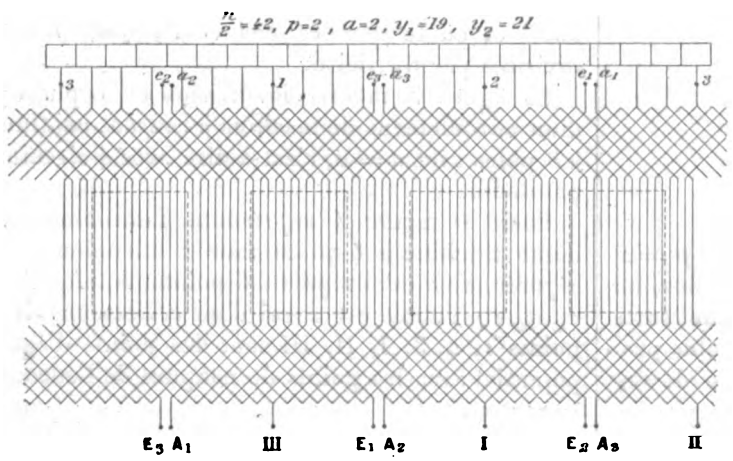


Fig. 4.

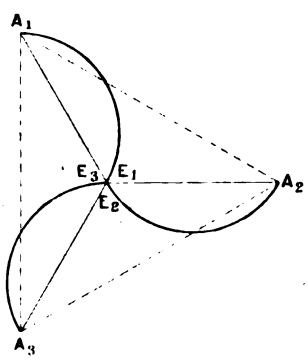


Fig. 6.

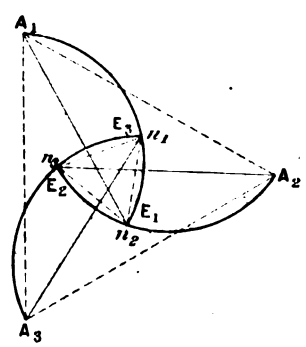


Fig. 7.

Les connexions suivantes (fig. 8 à 10), représentent un enroulement ouvert en 6 points, on a par conséquent toujours 6 phases à considérer. En premier lieu des 6 phases on en fait trois en reliant (fig. 8 à 12) E_1 avec e_3, E_2 avec e_1 et E

Digitized by Google

avec e_2 puis on connecte de différentes manières les trois phases obtenues $A_1e_1E_2a_2$, $A_2e_2E_3a_3$ et $A_3e_3E_1a_1$.

Dans la figure 8 a_1, a_2 et a_3 forment le centre

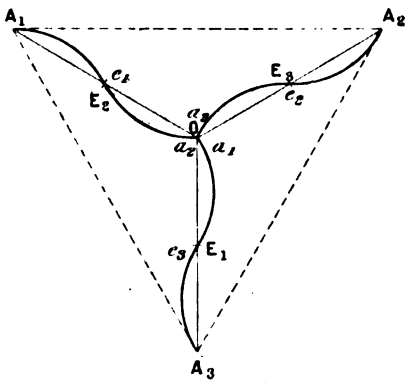


Fig. 8.

de l'étoile o, la tension triphasée peut être prise aux trois points A_1, A_2 et A_3.

Dans la figure 9, a_1 est connecté avec n_3, a_2

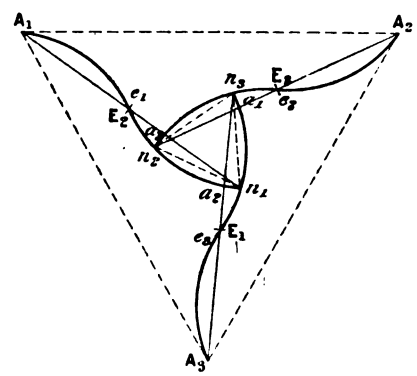


Fig. 9.

avec n_1 et a_3 avec n_2, n_1, n_2 et n_3 représentent

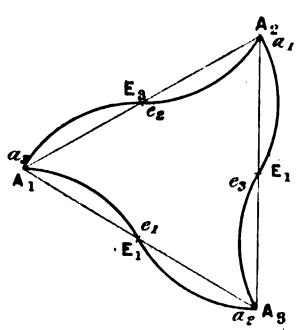


Fig. 10.

trois points à égale distance de E_1, E_2 et E_3. Ici on peut également avoir deux tensions, la basse tension en $\overline{a_1a_2}$ et la haute tension en $\overline{A_1A_2}$.

Dans la figure 10, les trois phases sont connectées en triangle, cette connexion n'a pour but que d'obtenir une tension inférieure à celle obtenue dans la connexion (fig. 8). On peut obtenir une tension plus faible encore, en connectant

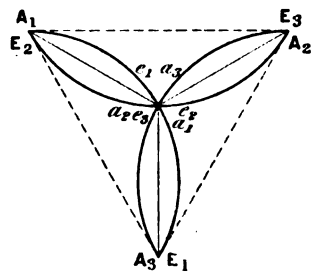


Fig. 11.

en parallèle les phases connectées précédemment en série. La figure 11 représente le montage en étoile et la figure 12 le montage en triangle.

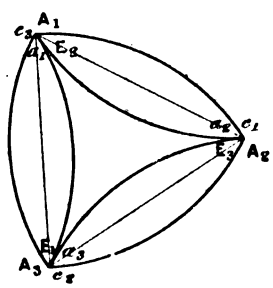


Fig. 12.

Deuxième groupe de connexions. — Ce groupe renferme une série de connexions qui trouvent leur emploi dans la construction des induits des moteurs triphasés, et qui permettent d'obtenir un fort couple de démarrage sans avoir à introduire de résistance dans l'induit.

Ce fort couple de démarrage est obtenu, comme dans l'enroulement de compensation de Görges en diminuant la force électromotrice produite dans l'induit.

La figure 13 donne une de ces connexions, l'enroulement continu a été partagé en trois parties, si l'on réunit suivant la figure 13, A_1 avec E_2, A_2 avec E_3 et A_3 avec E_1 et si l'on choisit sur les trois arcs trois points symétrique-

Digitized by Google

ment placés, n_1, n_2 et n_3 de telle sorte que $\overline{A_1 n_1} = \overline{A_2 n_2} = \overline{A_3 n_3}$, on obtient entre ces trois points une tension triphasée dont la grandeur est proportionnelle à la droite $\overline{n_1 n_2}$ tandis qu'entre les

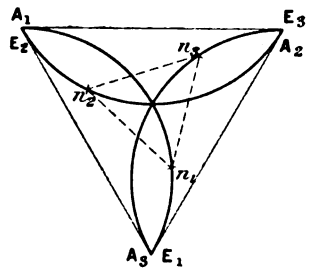


Fig. 13.

points A_1, A_2 et A_3 on obtient une tension proportionnelle à $\overline{A_1 A_2}$.

Si les trois points n_1, n_2 et n_3 sont reliés en court-circuit, on obtient, pour un couple donné un glissement, qui est $\left(\frac{A_1 A_2}{n_1 n_2}\right)^2$ fois plus grand que celui que l'on obtiendrait en mettant en court-circuit les points A_1, A_2 et A_3.

On peut donc, sans résistances dans l'induit et uniquement par un choix convenable des points n_1, n_2 et n_3 obtenir au démarrage un couple déterminé. Le moteur une fois lancé on met en court-circuit les trois points A_1, A_2 et A_3 et le moteur prend sa vitesse normale.

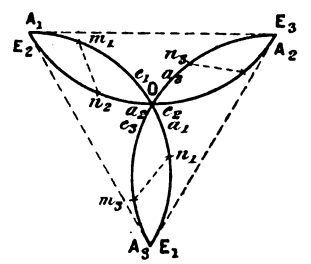


Fig. 14.

La figure 14 représente un enroulement fermé coupé en 6 points, connecté suivant la figure 11 et sur lequel on a choisi 6 points, m_1, m_2, m_3, n_1, n_2 et n_3 de telle sorte que $\overline{A_1 m_1} = \overline{A_2 m_2} = \overline{A_3 m_3} = \overline{a_1 n_1} = \overline{a_2 n_2} = \overline{a_3 n_3}$. Dans ce cas on obtient un glissement égal à $\left(\frac{A_1 A_2}{m_1 m_2}\right)^2$ fois plus grand que le glissement normal.

Troisième groupe de connexions. — Ce groupe comprend les connexions que l'on peut réaliser avec les machines ayant au moins deux enroulements séparés. L'un des enroulements est muni d'un collecteur, les autres sont comme précédemment partagés en six phases.

Si l'on considère les connexions de la figure 11 et si l'on réunit les trois points A_1, A_2 et A_3 avec les points d'égal potentiel 3, 2 et 1 de l'enroulement avec collecteur, on obtient la connexion représentée figure 15.

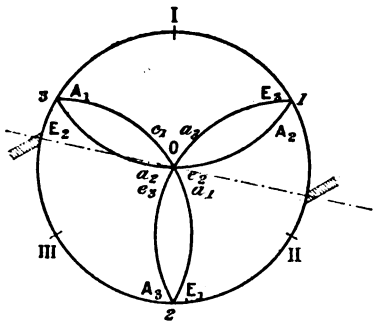


Fig. 15.

En reliant le point O à un anneau, on a une machine compensatrice ou un générateur pour système à trois fils, car le point O divise par moitié la tension existant entre les deux balais de la machine à courant continu.

Si l'on veut construire une machine donnant à la fois du courant continu et du courant triphasé on peut employer la connexion (fig. 15),

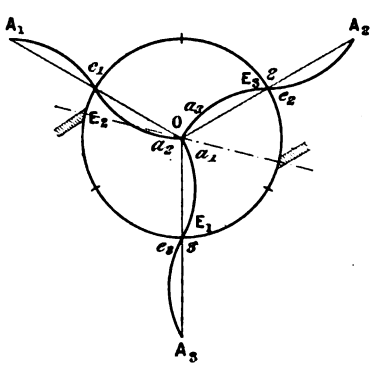


Fig. 16.

où les trois points 1, 2 et 3 sont reliés à trois anneaux. Avec une telle machine on peut obtenir, par exemple, du courant triphasé entre les points 1, 2 et 3 à 190 volts pour le service des

Digitized by Google

moteurs, puis entre le centre de l'étoile et les points 1, 2 et 3 du courant triphasé à $\frac{190}{\sqrt{3}} = 110$ volts pour l'éclairage et enfin entre les balais à courant continu, une tension continue de $110 \times 2 \times \sqrt{2} = 310$ volts, tension qui peut être divisée par 2 en prenant le centre de l'étoile.

Si le rapport entre la tension triphasée et la tension continue paraît trop faible, on peut doubler la première en connectant suivant la figure 16 où les six phases doivent être connectées comme l'indique la figure 8, et où les points e_1, e_2 et e_3 doivent être reliés respectivement aux points 1, 2 et 3 de l'enroulement fermé.

Bien d'autres connexions sont encore possibles et en particulier lorsque la machine comprend plus de deux enroulements en parallèle ($a > 1$), car un tel enroulement coupé comprend $6a$ et non 6 circuits de barres.

P. Diény.

MESURES

Système électromagnétique Weiss applicable aux instruments de mesure. Brevet français n° 289 941, 15 juin 1899.

Les instruments de mesure électrique dans lesquels on emploie des aimants permanents, sont sujets à se dérégler par suite de l'affaiblissement qui se produit dans la force de ces aimants. Cet inconvénient se présente tout aussi bien si le champ de l'aimant sert à produire la force déviante, tel est le cas des galvanomètres à courant mobile, que si l'aimant est employé pour fournir la force antagoniste qui s'oppose à la déviation, comme c'est le cas pour les galvanomètres à équipage magnétique mobile avec courant et aimant directeur fixes.

Dans le nouveau dispositif de M. P.-E. Weiss, la force déviante et la force antagoniste sont toutes deux dues à l'aimant ; il s'en suit que si l'aimant faiblit, les deux forces diminuent en même temps d'intensité, mais leur rapport reste constant ; par suite, les indications de l'appareil ne peuvent pas être altérées puisque la déviation de l'équipage mobile ne dépend que de ce rapport.

La force déviante provient comme d'habitude des actions mutuelles qui s'exercent entre un système d'aimants et un système de conducteurs dont l'un est fixe et l'autre mobile. La force antagoniste est due à l'action exercée par le système d'aimant sur une pièce de fer ou d'une autre substance magnétique fixée invariablement par rapport au courant.

Si l'aimant est mobile (fig. 1), la force

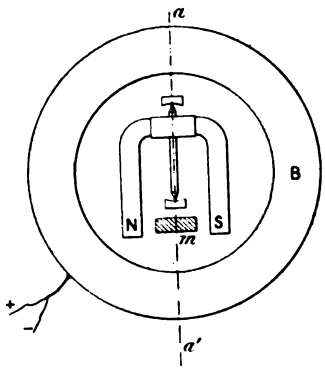


Fig. 1.

déviante qui résulte de l'action de l'enroulement fixe B sur l'aimant mobile NS est opposée à l'action sur ce même aimant du corps magnétique m invariablement relié à B et par conséquent fixe.

Si l'aimant NS est fixe, genre Deprez-d'Arsonval (fig. 2), le cadre b porte calée sur son

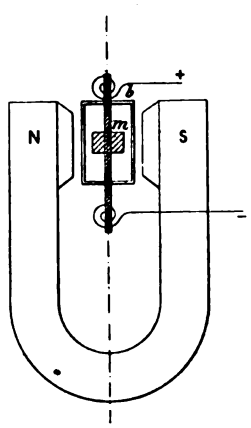


Fig. 2.

axe la pièce magnétique m ; la force déviante est due à l'action de l'aimant NS sur le cadre b, la force antagoniste est due à celle de cet aimant sur la pièce m.

La compensation des variations de l'aimant permanent peut être réalisée d'une manière indépendante, c'est-à-dire sans l'intervention d'autres forces que celles dont il vient d'être

Digitized by Google

question ; elle est même tout à fait générale et s'étend au cas où la force antagoniste n'est que partiellement produite par *m*, par exemple si les fils d'amenée du courant ne sont pas parfaitement flexibles ; il suffit alors de choisir convenablement les dimensions de cette pièce auxiliaire *m*. G.

Compteur G. Hummel.

Le compteur G. Hummel est un compteur-moteur type Marcel Deprez ; il se compose d'un

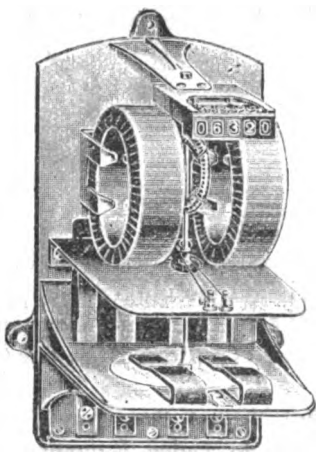


Fig. 1.

moteur sans fer dont l'énergie est absorbée par la rotation d'un disque-frein entre deux aimants permanents (fig. 1).

Deux solénoïdes sont parcourus par le courant d'utilisation, l'induit est en dérivation, le courant lui est conduit par des balais en argent. Ce qui distingue l'appareil des autres compteurs dont l'induit est généralement à tambour, c'est qu'il est muni d'un induit à circuit ouvert, genre Thomson-Houston à intensité constante. Dans l'induit à tambour, la moitié seulement du courant de tension parcourt les enroulements, tandis qu'avec l'induit ouvert, le courant total de dérivation traverse les enroulements. La force avec l'induit ouvert est en moyenne 1,7 fois plus grande qu'avec l'induit fermé ; ou bien, à force égale, le poids de cuivre est réduit à 0,6.

En outre, avec la disposition à circuit ouvert, il suffit de trois lamelles de collecteur, de sorte que le diamètre du collecteur peut être réduit à la moitié de sa grandeur habituelle. Le travail de frottement des balais est également diminué de moitié, de sorte que la sensibilité du compteur est doublée. La consommation ne dépasse pas 2,5 watts, la moitié environ de celle d'un compteur avec induit à tambour et collecteur de diamètre double.

L'induit est composé de trois enroulements dont une extrémité est réunie au segment du collecteur, tandis que les trois autres sont réunies entre elles.

De 10 à 100 p. 100 de la charge normale, l'exactitude est de 4 p. 100 en plus ou moins. Le démarrage se produit pour 2 p. 100 de la charge normale.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 5 février 1900.

Sur les masses vectorielles de discontinuité. par **André Broca**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 317-319.

L'auteur démontre le théorème suivant : Même dans le cas où un champ de vecteur ne dérive pas d'un potentiel, la seule composante du vecteur qui puisse être discontinue sur une surface donnée est la composante normale à cette surface quand le champ est dû à une même cause.

Rayons X et décharge : Généralisation de la notion de rayons cathodiques, par **G. Sagnac**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 320-323.

Dans cette note, déposée sous pli cacheté le 18 juillet 1898, l'auteur fait connaître les résultats d'expériences sur la décharge par les rayons X d'une feuille d'or électrisée ainsi que l'interprétation de ces résultats.

1. Les rayons X ou les rayons secondaires dissipent avec une même vitesse l'électrisation positive ou l'électrisation négative d'un métal, si ce métal reçoit les rayons à travers des orifices percés dans une enveloppe métallique

Digitized by Google

qui est soigneusement reliée au sol et qui ne laisse pas sortir les lignes de force issues du métal électrisé, *sous la condition expresse qu'aucun champ électrique ne règne à l'extérieur de la cage sur le trajet des rayons.* Une notable inégalité entre les vitesses de dissipation des deux électricités apparaît si la cage est électrisée : si la charge de la cage est négative, la dissipation de l'électrisation négative de la feuille est beaucoup plus rapide que celle de la positive. Cette inégalité se manifeste également quand un corps électrisé est placé à l'extérieur de la cage : il y a augmentation de la dissipation de l'électrisation de la feuille d'or quand cette électrisation est de nom contraire à celle du corps extérieur, tandis qu'il y a diminution de la dissipation quand les électrisations de la feuille et du corps sont de même nom.

II. Pour expliquer ces phénomènes, M. Sagnac admet que les charges électriques libérées par les rayons dans l'air soumis au champ extérieur suivent *à peu près* les lignes de force de ce champ avec une certaine *vitesse* et que c'est grâce à cette vitesse acquise qu'elles peuvent quitter ces lignes de force pour rejoindre celles du champ intérieur et atteindre alors le corps électrisé; si les lignes de force du champ extérieur ont même sens que celles du champ intérieur (électrisations de noms contraires de la feuille et du corps extérieur) la vitesse des charges électriques atteignant la feuille se trouve augmentée par l'existence du champ extérieur et la vitesse de dissipation de l'électrisation de la feuille doit augmenter ; si les deux champs sont de sens inverses la vitesse de dissipation doit au contraire diminuer.

III. Il se produirait donc ainsi comme un *bombardement* moléculaire de la feuille d'or. L'auteur pense qu'en diminuant la pression de l'air, la vitesse du bombardement augmenterait et que ce bombardement deviendrait progressivement analogue aux rayons cathodiques et aux rayons anodiques, de sorte qu'on aurait ainsi *toute une gamme de flux anodiques et cathodiques.*

Contribution à l'étude des stratifications, par **H. Pellat**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 323-325.

Une hypothèse fort commode pour expliquer les stratifications de la décharge dans un tube de Geissler est de les considérer comme dues aux interférences d'ondes électriques directes et réfléchies. Si cette hypothèse est exacte, un champ magnétique intense doit, en déviant en sens contraires les ondes directes et les ondes réfléchies dont les courants sont de sens inverses, faire disparaître les stratifications. Les expériences faites par M. Pellat en plaçant des tubes de Geissler entre les pôles d'un fort électroaimant Weiss, perpendiculairement aux lignes de force, ne confirment pas cette conséquence de l'hypothèse rappelée au début (1).

(1) Voici en effet les résultats de ces expériences :

« I. Un tube de 0,85 m environ de longueur, de 0,01 m de diamètre intérieur, contenant de l'air et pourvu d'électrodes intérieures a été laissé en communication avec une pompe à mercure. Pour toutes les pressions étudiées, comprises entre 10,5 mm et 0,1 mm de mercure, il n'y a eu qu'un seul faisceau dévié, qui dans la partie intense du champ se réduisait à un filet très brillant d'environ 1 mm de diamètre, appliqué contre la paroi du tube; la déviation de ce filet changeait de sens, bien entendu, avec la direction du courant inducteur dans la bobine et avec la direction du champ magnétique.

« Ainsi, dans les conditions de ces expériences *il n'y a ni onde électrique réfléchie, ni oscillations électriques.*

« Malgré cela, de très belles stratifications se produisaient dans le tube surtout pour les pressions comprises entre 1 mm et 0,1 mm de mercure. Les stratifications étaient, du reste, beaucoup plus fixes et plus nettes, quand on produisait le champ magnétique.

« II. J'ai étudié aussi un tube ayant à peu près les dimensions du précédent, mais fermé aux deux bouts et contenant de la vapeur d'alcool raréfiée; il était dépourvu d'électrodes intérieures; deux cylindres de clinquant enveloppant les extrémités communiquaient avec les pôles de la bobine (électrodes extérieures).

« Ce système constitue deux condensateurs en cascade; à chaque interruption du trembleur, et à des intervalles très rapprochés, il y a dans l'intérieur du tube un courant électrique dans un sens (charge des condensateurs) et un courant électrique en sens inverse (décharge). Les deux courants illuminent le tube.

« Dans le champ magnétique, ces deux courants sont déviés en sens inverses et séparés dans la plus grande partie du tube. Dans la région intense du champ, ils se réduisent à deux filets lumineux contre les parois opposées du tube dans un plan perpendiculaire au champ magnétique. En les regardant dans un miroir tournant, on les voit plus écartés ou plus rapprochés, suivant le sens de la rotation, ce qui indique qu'ils ne sont pas simultanés. De magnifiques stratifications se voient dans toutes les parties de chacun de ces faisceaux ainsi séparés et jusque dans les filets lumineux du champ intense.

« Encore ici, il est impossible d'expliquer ces stratifications par la superposition d'une onde directe et d'une onde réfléchie.

« III. L'intensité de champ magnétique étant variable le long du tube, la section de la colonne de gaz traversée par la décharge est variable aussi : large dans les régions

Digitized by Google

Sur la cristallisation métallique par transport électrique de certains métaux dans l'eau distillée, par **Thomas Tommasina**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 325-327.

L'an dernier, au cours d'expériences sur les cohéreurs, l'auteur observait le phénomène suivant (1) : Si l'on relie les pôles d'un accumulateur respectivement à un petit pendule en cuivre et à une lame du même métal plongés dans de l'eau distillée on voit se former, pourvu que la distance de la lame à la sphère du pendule soit suffisamment petite, une chaîne de cristaux, partant de la lame pour aller rejoindre la sphère si celle-ci est reliée au pôle positif.

Dans la note présentée à la dernière séance de l'Académie, M. Tommasina cite quelques expériences montrant que ce phénomène se produit avec d'autres métaux que le cuivre. La cathode est généralement une lame horizontale du métal considéré ; l'anode, un fil ou une lame mince de ce métal ayant une extrémité taillée en pointe et dont l'autre extrémité est pincée dans un support à crémaillère permettant de la descendre jusqu'au contact de la cathode pour la remonter ensuite sans secousses ; anode et cathode sont plongées dans l'eau distillée contenue dans un vase à parois de verre parallèles pour permettre l'observation à la loupe ou au microscope ; la force électromotrice est fournie par trois accumulateurs en tension, une résistance assez forte réduisant l'intensité à 1 milliampère. Avec le zinc le phénomène est particulièrement remarquable ; le dépôt cristallisé est très distinct et visible même à l'œil nu. L'argent donne aussi immédiatement des arborescences de cristaux, ayant moins d'éclat que ceux du zinc. Le cadmium le produit moins bien. L'aluminium ne donne aucun dépôt cristallisé visible, mais il produit un phénomène très intéressant et curieux qui lui est propre : il forme un dépôt arborescent de bulles gazeuses, qui semblent polarisées et rigides, s'embranchant les unes sur les autres identiquement à ce qu'on observe dans les cristallisations métalliques arborescentes décrites plus haut ; l'auteur n'a pas encore pu constater si ces bulles polarisées contiennent de l'aluminium à l'état extrêmement divisé.

Lorsqu'on a laissé une distance trop grande entre les électrodes pendant quelque temps, l'on voit très souvent se former comme un flux de corpuscules, une espèce de brouillard en forme de colonne entre les électrodes ; le microscope permet d'y déceler des cristaux métalliques.

Avec une lame de cuivre suspendue comme cathode et une de zinc horizontale comme anode, il se produit des arborescences de cristaux de zinc qui descendent de l'extrémité du cuivre à laquelle elles adhèrent. Changeant la direction du courant, un dépôt noir se forme sur celui de zinc et ensuite un autre d'un rouge très vif qui se ramifie au sommet. Ce dernier vu dans le microscope semble une agglomération de petits cristaux, tandis que l'autre apparaît d'un noir de velours très compact et sans éclat métallique.

En prenant comme liquide l'huile de vaseline, comme cathode un disque de cuivre et comme anode un gros fil du même métal, il se forme un brouillard filiforme qui, suivant les lois de l'électrodynamique est repoussé par le courant de sens inverse qui traverse le conducteur reliant le disque cathodique à la source. En substituant l'eau distillée à l'huile de vaseline et en suspendant au fil de cuivre anodique une sphère d'argent l'auteur a pu encore vérifier d'une façon différente que les chaînettes formées suivant les lignes de force obéissent aux lois électrodynamiques d'Ampère.

M. Tommasina ajoute : « Je pense que ces constatations, par leur nature et par la simplicité du dispositif qui les donne, pourront fournir des éléments nouveaux aux recherches sur les mouvements des ions, et sur la mesure de la vitesse de ces mêmes mouvements. Peut-être aussi pourront-ils se prêter à élucider certains points de la théorie osmotique de la pile ; étant donné que les lois déduites des mesures de Van't Hoff et de Pfeffer sont d'autant mieux vérifiées que les solutions sont plus diluées. »

où le champ est peu intense, elle est très étroite dans les régions où le champ est le plus intense.

« Or, on constate que les stratifications sont d'autant plus resserrées que la section de la colonne est plus faible ; il faut se servir d'une loupe pour les voir dans la partie qui est située entre les pôles de l'électro-aimant.

« Ce fait est d'accord avec ce qu'on sait sur les stratifications en dehors du champ magnétique, qui sont d'autant plus resserrées que le tube est plus étroit pour la même pression ; mais il s'accorde mal avec l'idée d'attribuer les stratifications à un phénomène d'interférence. »

(1) *Écl. Élect.*, t. XIX, p. 278, 20 mai 1899.

Digitized by Google

Sur la production de rayons X secondaires par le corps humain et sur un point important de la technique radiographique, par **Th. Guilloz.** *Comptes rendus.* t. CXXX, p. 355-357.

On sait que les épreuves radiographiques des régions épaisses du corps de l'homme, qui exigent une pose assez longue, sont presque toujours voilées. Dès que M. Sagnac eut montré que l'air traversé par les rayons X émet des rayons secondaires capables d'agir sur une plaque photographique à travers les objets, on attribua à ces rayons le voile observé. Tout corps frappé par les rayons X donnant naissance à des rayons secondaires, en quantité plus ou moins grande, il était à prévoir que les supports, les appareils, le corps du sujet radiographié lui-même devaient aussi contribuer au voile. M. Guilloz a montré que ce sont en réalité ces dernières causes qui ont le plus d'influence, la diffusion par l'air n'ayant qu'un effet infime.

Parmi les expériences qui l'ont conduit à cette conclusion, citons la suivante : un écran métallique très épais est percé d'une ouverture laissant passer les rayons d'un tube de Crookes. Au-dessous de l'écran et dans la région de l'espace où ne peuvent pénétrer les rayons X est une plaque photographique enveloppée de papier noir et dont une moitié est recouverte d'une feuille d'étain.

Sur l'autre moitié de la plaque on place la main et une pièce de monnaie. Après deux minutes de pose, on fait glisser la feuille d'étain de manière à recouvrir cette dernière moitié et à découvrir la première moitié où l'on place alors la main et la pièce de monnaie. Un aide met sa main sur le trajet du faisceau de rayons X de manière à envoyer des rayons diffusés sur la plaque. Après une pose de deux minutes on développe. Les images fournies par la seconde partie de l'expérience sont vigoureuses, mais à contours peu nets à cause de la surface considérable de la source de rayons secondaires ; celles données par la première partie sont à peine visibles et sont dues à la diffusion par l'air et surtout le plancher de la salle.

Cette constatation de la faible influence de la diffusion par l'air et de l'effet important de la diffusion par les objets frappés par les rayons X amène M. Guilloz à recommander de réduire autant que possible l'appareillage de la radiographie et de la fluoroscopie. En particulier il faut proscrire l'emploi, recommandé lorsqu'on croyait le voile dû à la diffusion par l'air, d'un tronc de cône métallique partant du tube par sa petite base et arrivant au corps du sujet, car si ce cône protège la plaque des rayons secondaires émis par les objets environnant le sujet, il donne lui-même une grande surface de production des rayons secondaires. Il est préférable d'encadrer la partie à radiographier dans une lame de plomb qui suit exactement ses contours.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 7 février 1900.

Au début de la séance, le Président fait part à la Société de la mort de M. Hughes, l'inventeur du télégraphe-imprimeur en service sur la plupart des réseaux, du microphone, de la balance d'induction. Alors que toutes les compagnies et toutes les administrations repoussaient son invention comme irréalisable en pratique, il trouva en France l'accueil le plus favorable et c'est grâce à la collaboration d'un de nos plus habiles constructeurs, M. Dumoulin Froment, qu'il put porter son appareil à un degré de perfection suffisant pour réaliser « l'impression au vol », base de son système. Il s'est souvenu de l'appui qu'il reçut alors en France et, en mourant, il a légué à la Société internationale des Electriciens une somme de 50 000 fr destinée à fonder une bourse en faveur d'un jeune électricien.

L'ordre du jour appelle ensuite la continuation de la discussion ***sur les lampes à arc sans rhéostat,*** par **Bochet.**

L'auteur rappelle que dans ces dernières années deux systèmes différents ont été proposés pour remplacer, dans certains cas, les dispositifs ordinairement employés pour l'éclairage à arc : les lampes à arc enfermé et les lampes à bas voltage. Avec les premières on cherche à augmenter la différence de potentiel nécessaire pour la formation de l'arc afin de ne placer qu'une seule lampe sur un réseau à 110 volts. Les avantages réclamés pour ce système sont : l'indépendance de chaque lampe, la simplicité du mécanisme, la possibilité d'employer des charbons quelconques, la diminution de la main-d'œuvre.

Le système des trois lampes en série sur

Digitized by Google

110 volts prend donc le contre-pied du précédent ; on espère qu'il procurera les avantages suivants : économie de puissance, puisqu'on remplace le rhéostat par une lampe ; meilleure répartition de la lumière. Par contre, on est forcé d'employer des charbons spéciaux ; le mécanisme des lampes est plus compliqué ; les frais d'entretien sont augmentés.

Jusqu'à présent ces systèmes n'ont pas pris, en France, un grand développement. On ne peut évidemment tirer de ce fait aucun argument contre eux, mais il prouve que l'on ne veut pas risquer d'abandonner les avantages très réels auxquels les lampes anciennes nous ont habitués, et, parmi ceux-ci, la fixité de la lumière.

Dans les lampes à bas voltage, la nature des crayons a une importance capitale, et la résolution pratique du problème dépend en grande partie des fabricants de charbon. Mais le point de départ de tous les travaux sur cette question doit être évidemment l'étude raisonnée de l'arc électrique lui-même. Nous avons pour cela les travaux fondamentaux de M. Violle et de M. Blondel (1).

Le premier a montré que, dans le four électrique, l'éclat du cratère ne varie pas entre 5 et 200 ampères.

Le second a étudié l'influence du diamètre des charbons, de la qualité de ceux-ci, de la nature des mèches, de la différence de potentiel aux pointes de l'arc.

Les conclusions de son travail sont, qu'avec l'arc en vase clos, on obtient un mauvais rendement en partie mitigé par la diminution du refroidissement par l'air extérieur. Si l'on emploie des charbons de même qualité dans une lampe ordinaire et dans une lampe à arc enfermé, le rendement de celle-ci n'est que les 2/3 environ de la première si les charbons sont de qualité ordinaire et il peut s'abaisser à 1/2 si les charbons sont de qualité supérieure.

Pour des lampes à bas voltage, les conclusions de M. Blondel étaient très défavorables, en raison du mauvais rendement lumineux de l'arc quand le voltage descend au-dessous de 45 ou 50 volts. Ces conclusions ne s'appliquent qu'aux arcs obtenus avec les qualités de charbon employées par M. Blondel ; depuis, par suite des modifications apportées dans la fabrication des crayons et des mèches, ces conclusions peuvent être elles-mêmes modifiées.

La résistance extérieure est nécessaire pour assurer la fixité de l'arc ; mais elle entraîne une perte de puissance considérable. Pour la supprimer, il faudrait trouver un organe analogue. Les lampes proposées pour le montage par 3 en série sur 110 volts l'offrent-elles ? Non. Ces lampes très ingénieuses, fort bien construites, n'offrent rien de nouveau ; ce sont des lampes différentielles très sensibles, mais d'un mécanisme compliqué. L'avantage apparent des lampes différentielles dans ce cas provient de ce qu'elles introduisent, en réalité, une résistance, en modifiant la longueur de l'arc. Mais il est préférable que la résistance soit à l'extérieur de l'arc.

Il serait regrettable de renoncer aux lampes à potentiel constant très simples et d'un fonctionnement parfait. Elles peuvent, tout comme les lampes différentielles être montées par trois en tension sur les réseaux. M. Bochet a pu monter trois lampes du modèle décrit dans ce journal à propos des installations de la ligne de Sceaux prolongée, et en obtenir un excellent éclairage sur un réseau à 120 volts, avec la simple précaution de remplacer les charbons ordinaires par des charbons de qualité appropriée. Du reste, ces lampes fonctionnent depuis six ans dans des conditions au moins aussi difficiles : elles sont établies pour fonctionner avec 45 volts aux bornes, et on les a montées en dérivation par une sur un réseau à 50 volts ; pourtant leur fonctionnement n'a rien laissé à désirer.

Il n'est donc pas nécessaire de recourir aux lampes différentielles ; toutes les lampes peuvent être montées par trois en tension, à condition qu'on laisse une marge suffisante.

M. Roux a eu l'occasion d'étudier l'application pratique du montage des arcs par trois en série. Il estime que cette application peut être avantageuse dans certains cas mais que ce serait une erreur de vouloir la généraliser. Lorsqu'il s'agit

(1) Ces travaux et les études, non moins remarquables et devenus classiques, de M. Blondel sur diverses branches de l'électricité viennent de recevoir leur juste récompense : à la dernière promotion dans l'ordre de la Légion d'honneur, M. Blondel a été nommé chevalier de cet ordre. Nous sommes heureux de voir cette marque de distinction accordée à l'un des premiers et plus brillants collaborateurs de cette Revue et nous profitons de cette citation de son nom pour adresser à M. Blondel nos sincères félicitations. N. d. l. R.

Digitized by Google

notamment des grands espaces, l'importance des canalisations devient souvent prépondérante.

Pour des espaces restreints, au contraire, l'emploi de trois arcs en série serait avantageux, non seulement au point de vue de la dépense d'énergie et de la répartition lumineuse, mais encore au point de vue des dépenses en canalisation.

Dans certains cas, pour des installations isolées où l'on peut disposer du voltage lors de l'installation et dépasser 110 volts, l'emploi de 3 arcs devient très avantageux car on peut augmenter le voltage aux arcs sans dépenser trop dans les canalisations.

Quant à l'utilisation du courant dans les lampes montées par 3 sur 110 volts, M. Roux cite comme exemple l'éclairage du boulevard de Clichy; il y a 14 lampes montées sur 5 circuits; 4 circuits de 3 sans rhéostat et un circuit de 2 avec rhéostat. La fixité de la lumière est la même sur tous les circuits et l'œil le plus exercé ne peut apprécier la moindre différence d'éclat ou d'éclairement entre les lampes de n'importe quel circuit.

Les charbons employés, dont le rôle important a déjà été signalé, doivent être tendres et très conducteurs.

M. Brillié confirme les appréciations de M. Roux.

Lorsque la différence des pôles aux arcs est la même qu'il y ait 2 ou 3 arcs en série, les conditions de fonctionnement des arcs sont évidemment les mêmes; la seule différence est que, dans le second cas, on a remplacé un organe inerte, le rhéostat, par un organe utile, la lampe. L'économie est donc évidente.

Coupe-circuits et interrupteur pour hautes tensions, par **Vedovelli.**

M. Védovelli présente plusieurs appareils ayant pour but de couper les circuits à haute tension sans production d'arcs dangereux.

Dans un premier appareil, dû à M. Steel, l'interruption du courant se fait entre deux mâchoires fixes, reliées chacune à un des pôles, et une lame mobile dont les extrémités pénètrent dans les mâchoires. Lorsqu'on abaisse cette lame, une feuille de mica vient mécaniquement s'interposer entre les points de rupture; elle forme écran et coupe l'arc instantanément. Cette lame de mica dure très longtemps, car elle n'est soumise à la chaleur de l'arc que pendant un temps infiniment court à chaque opération.

Dans un autre appareil, analogue au parafoudre à cornes, l'arc s'éteint par suite de son allongement, car il tend à s'élever le long des cornes en raison du courant d'air chaud produit. Les cornes peuvent être faites avantageusement en aluminium ou mieux en zinc. Leur inclinaison sur l'horizontale doit être de 45°. Leur écartement à la base et leur longueur doivent varier suivant la tension. Les meilleures dimensions, déterminées expérimentalement, sont les suivantes :

Tension	Ecartement	Longueur
1 000 volts	3 cm	20 cm
3 000 »	4 »	30 »
5 000 »	6 »	50 »
10 000 »	10 »	70 »

Dans tous les cas, l'arc s'éteint au plus tard lorsqu'il atteint la moitié de la longueur des cornes.

M. Védovelli présente aussi plusieurs interrupteurs basés sur le principe de l'augmentation du nombre de points de rupture.

Un autre coupe-circuit, imaginé par M. Steel, est formé par un plomb fusible qui passe dans un tube en verre en forme d'U; ce tube est en partie rempli d'huile; il est retenu par le plomb fusible lui-même; lorsque ce dernier vient à fondre, le tube de verre descend et les extrémités du fil, entre lesquelles l'arc s'était formé, se trouvent séparées par une couche d'huile qui forme écran et interrompt l'arc immédiatement. Un appareil de très petites dimensions suffit pour un courant à 6 000 volts.

Un dernier appareil présenté par M. Védovelli est une mise à la terre automatique. Elle est formée par deux pastilles métalliques séparées par une mince feuille de mica percée de trous; l'une des pastilles est reliée à la partie du réseau à protéger; l'autre est reliée à la terre par l'intermédiaire d'un fusible qui, en fondant libère un contact de mise à la terre. L'épaisseur de la lame de mica est calibrée avec précision. Si la tension vient à augmenter entre les deux pastilles par suite d'un défaut d'isolement du réseau, un arc jaillit automatiquement, paraît-il, entre ces deux pastilles et la mise à la terre s'effectue. G. P.

Digitized by Google

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du vendredi 26 janvier 1900.

Quelques remarques sur l'emploi du fil de garde de Price dans les essais d'isolement, par **Ayrton** et **Mather**.

Dans les essais d'isolement effectués par la méthode directe de la déviation, l'emploi du fil de garde donne, lorsqu'il est convenablement appliqué, une protection complète contre les pertes par la surface pourvu toutefois que les deux extrémités du câble en essai soient proches du galvanomètre, de telle sorte que le fil réunissant le conducteur du câble avec la borne du galvanomètre soit complètement isolé par l'air. Quand, au contraire, les deux extrémités du câble se trouvent à une distance considérable de l'instrument de mesure, l'isolement par l'air ne peut toujours être réalisé et des pertes superficielles sont possibles. Les auteurs ont surmonté cette difficulté en appliquant un fil de garde d'un bout à l'autre du conducteur. Ils utilisent dans ce but un conducteur concentrique pour relier le câble au galvanomètre, le fil interne étant employé comme conducteur de connexion, l'armature externe comme fil de garde.

Le même dispositif peut être appliqué pour déterminer si un morceau défectueux du câble est mauvais d'un bout à l'autre ou s'il présente seulement quelques défauts. Dans ce cas, le câble est placé dans deux caisses à eau, dont l'une est reliée à la terre et l'autre isolée avec grand soin. Par un arrangement convenable du fil de garde, il est facile de déterminer la résistance du fil dans la caisse mise à la terre, de telle sorte qu'en diminuant la longueur de ce fil, la valeur de l'isolement puisse être déterminée sur toutes les parties du câble. En terminant les auteurs font remarquer que dans les expériences faites en 1895 par M. Appleyard sur le fil de garde, le dispositif employé laissait à désirer et qu'en l'un des points il y avait des chances de pertes.

M. Appleyard répond à ce propos qu'il est de l'avis des auteurs en ce qui concerne la nécessité d'employer le fil de garde pour l'une et l'autre extrémité d'un câble lorsque ces extrémités sont accessibles. Mais dans les expériences de 1895, l'extrémité la plus éloignée du câble aboutissait dans une boîte à condensateur qui était plongée dans l'eau ; d'ailleurs des précautions spéciales furent prises pour assurer un bon isolement de l'extrémité immergée du câble et les essais montrèrent que les pertes étaient réellement nulles.

Méthode d'essai des câbles sous tresses et autres câbles isolés, par **Appleyard**.

Cette méthode permet de trouver le défaut de ces câbles sans enlever l'isolant. Le câble est enroulé sur deux tambours ou dans deux récipients, une longueur intermédiaire de 3 m environ séparant les parties enroulées. Une extrémité de l'âme est laissée libre ; l'autre est reliée à la terre à travers un galvanomètre et une pile. Un fil de garde relie un point situé entre le galvanomètre et la pile et un point de la couche isolante de la portion de fil située entre les tambours ; une étoffe humide reliée à la terre est posée sur la couche isolante de la portion de câble enroulée sur l'un ou l'autre des tambours. On note la déviation galvanométrique. Le fil de terre est alors connecté à l'autre tambour et la déviation correspondante est observée ; la comparaison de ces deux déviations indique immédiatement sur laquelle des deux portions de câble enroulées sur les deux tambours se trouve un défaut. On peut encore faire glisser le câble contre un contact constitué par un balai ou une éponge reliée au fil de garde ; tant qu'aucun défaut ne se trouve en face du contact, le galvanomètre dévie ; au moment du passage du défaut, la déviation s'annule. Un des avantages de cette méthode est qu'au moment critique où le défaut passe sous le fil de garde, le galvanomètre est court-circuité par le défaut et se trouve ainsi complètement protégé.

Réflexion et transmission des ondes électriques le long des fils, par **E. Barton** et **L. Lownds**.

Les ondes produites au moyen d'une bobine d'induction et d'un oscillateur se propageaient le long de fils de 0,15 cm de diamètre, distants de 66 cm et longs de 166 m. Les extrémités de ces fils étaient reliées par des traits de graphite tracés sur un verre dépoli, de telle sorte que tout train d'ondes atteignant les extrémités s'y trouvait absorbé. Le dispositif expérimental comprenait en outre trois condensateurs-plan circulaires ayant respectivement, 15, 9 et 5 cm de rayon, leurs armatures étant séparées par

Digitized by Google

une couche d'air de 1 cm d'épaisseur. Au fil était relié un électromètre dont l'aiguille était à l'état neutre et qui par conséquent se trouvait constamment attirée par les plateaux chargés d'électricité. Cet électromètre produisait une perturbation négligeable, car il réfléchissait seulement 0,04 p. 100 de l'énergie qui l'atteignait.

Traitant le problème mathématiquement en utilisant les relations de Heaviside, les auteurs ont obtenu les expressions des systèmes d'ondes réfléchies et transmises. Ces expressions contiennent deux termes dont l'un est relativement peu important ; les auteurs ont calculé certaines valeurs du premier terme, ainsi qu'une limite supérieure du second, et ils ont ainsi trouvé deux valeurs extrêmes de la somme algébrique des deux termes. D'autre part en disposant convenablement les condensateurs et l'électromètre, ils ont déterminé expérimentalement les valeurs correspondant aux cas examinés dans leurs calculs. Les résultats expérimentaux concordent parfaitement avec les résultats théoriques et dans beaucoup de cas la valeur expérimentale se trouve comprise entre les deux valeurs approchées théoriques. Ce travail constitue donc une vérification de la théorie de Heaviside.

NORTHWESTERN ELECTRICAL ASSOCIATION

Réunion annuelle des 17 et 18 janvier 1900.

Cette association presque uniquement composée d'ingénieurs et de directeurs de stations centrales, tient chaque année une réunion où sont discutées les questions à l'ordre du jour qui intéressent particulièrement les exploitants de réseaux de distribution d'éclairage. Cette année la réunion a eu lieu à Milwaukee, Wisconsin, sous la présidence de M. H.-L. Doherty dont le discours d'ouverture peut être intitulé :

Remarques sur l'installation et l'exploitation des réseaux de distribution.

Le président y fait tout d'abord ressortir le développement considérable qu'a pris l'industrie électrique aux États-Unis pendant l'année qui vient de s'écouler. Il exprime le regret que ce développement ait eu pour conséquence une augmentation sensible du prix des matières premières nécessaires à l'industrie électrique, mais en même temps il exprime l'espoir que les matières premières reprendront leurs cours normaux sans qu'il y ait arrêt dans les progrès de cette industrie.

Deux points des installations de distribution d'éclairage sont particulièrement examinés par M. Doherty : les machines motrices et les dispositifs d'éclairage par lampes à arc en série. Les machines à vapeur lui paraissent arrivées à un degré de perfectionnement tel qu'une amélioration importante dans les rendements de ces machines semble peu probable ; seules les machines à très haute pression et les turbines à vapeur pourraient amener quelque modification dans l'outillage actuel des usines génératrices d'électricité, en tant que l'on considère les moteurs à vapeur. Les moteurs à gaz semblent au contraire devoir apporter à bref délai une modification profonde dans les moyens de générer l'énergie mécanique et les ingénieurs doivent suivre avec attention les progrès qui s'accomplissent journellement dans cette voie. Quant à l'éclairage par arc enfermé alternatif, introduit depuis deux ans aux États-Unis et qui se développe rapidement, il est l'objet d'une communication dont nous donnons plus loin l'analyse, ce qui nous dispense de nous y arrêter.

M. Doherty passe ensuite à l'examen des meilleures conditions d'exploitation. Il appelle l'attention des ingénieurs sur la nécessité d'avoir des employés et des ouvriers dont l'éducation professionnelle soit plus développée qu'elle ne l'est actuellement. Il demande aux financiers de ne pas craindre d'apporter leurs capitaux à l'industrie électrique et surtout de mettre les sociétés exploitantes en mesure de pouvoir remplacer un vieux matériel par un matériel moderne, le rendement financier de l'installation se trouvant ainsi considérablement augmenté comme le montrent de nombreux exemples. Aux directeurs des stations il recommande la recherche d'un mode de tarification équitable pour l'exploitant et le consommateur et prêtant au développement de la clientèle ; il signale à ce point de vue la tarification de Wright basée sur la demande maximum et l'emploi de compteurs à deux tarifs, tout en faisant observer que le meilleur mode de tarification doit surtout s'inspirer des conditions locales.

Quelques-unes des communications faites à

Digitized by Google

l'assemblée à la suite du discours d'ouverture sont analysées ci-dessous ; nous donnerons une analyse des autres dans un prochain numéro.

Récent développement de l'emploi des lampes à arc enfermé à courant alternatif, par **R. Fleming.**

L'auteur commence par établir qu'au point de vue de la génération et de la distribution, l'éclairage public par arcs enfermés à courant alternatif est préférable à l'éclairage par arcs en série à courant continu.

Ce dernier système, bien qu'arrivé depuis plusieurs années déjà à un degré de perfection tel qu'il est douteux qu'on puisse y apporter quelque amélioration importante, présente divers inconvénients. En particulier il exige, par suite de la grande différence de potentiel que doivent donner les génératrices, l'emploi de dynamos de faible puissance et, partant de mauvais rendement, actionnées soit par des moteurs thermiques ou électriques à courants alternatifs d'aussi faible puissance et d'aussi mauvais rendement, soit par un arbre commandant plusieurs dynamos et absorbant en frottements une très notable quantité d'énergie.

L'emploi d'arcs à courant alternatif paraît présenter sous ce rapport un avantage marqué car il semble que rien n'empêche alors de prendre des génératrices d'une puissance suffisante pour être économiques, et d'utiliser, directement ou après transformation, l'excédent de la puissance fournie par ces génératrices sur celle qu'exige l'alimentation des arcs pour l'alimentation d'un réseau d'éclairage ordinaire ou de force motrice. En réalité cet avantage n'existe pas si l'on se sert de lampes à arc libre car, ces lampes exigeant des génératrices à très grande réaction d'induit et à excitation indépendante, on se trouve amené à l'usage de génératrices spéciales pour l'alimentation des arcs. On a donc les mêmes inconvénients qu'avec le courant continu, sans compter quelques autres inhérents aux lampes à courant alternatif tels que sifflement des arcs, moins bon rendement dans l'éclairement, difficultés de réglage, etc.

Mais si l'on prend des lampes à arc enfermé alimentées par des transformateurs à courant d'intensité constante, l'alimentation par courants alternatifs reprend l'avantage signalé ci-dessus. En outre la régulation est aussi bonne et même meilleure qu'avec les arcs à courant continu sans qu'il soit besoin d'employer les moyens de régulation en usage dans ce dernier cas, le transformateur effectuant automatiquement cette régulation.

Les avantages de l'alimentation par courants alternatifs se trouvant ainsi établis, M. Fleming passe aux lampes elles-mêmes. Il reconnaît que la construction d'une bonne lampe-série pour courant alternatif présente des difficultés bien plus grandes que celle d'une bonne lampe-série pour courant continu. Mais à son avis ces difficultés sont maintenant surmontées et les lampes à courant alternatif à arc enfermé fonctionnent aujourd'hui aussi bien, sinon mieux, que les lampes à courant continu (1).

M. Fleming termine sa communication par quelques données sur les conditions d'exploitation du système d'éclairage par lampes à courant alternatif à arc enfermé. L'économie réalisée par la substitution de ce système au système d'éclairage par arc libre à courant continu serait, d'après lui, suffisante pour couvrir en deux ans seulement les frais résultant de cette substitution. L'économie provient en effet non seulement d'un meilleur rendement des génératrices, mais encore d'une diminution sensible dans les frais d'entretien, un seul homme étant suffisant pour entretenir 600 lampes à arc enfermé alternatif alors que six hommes seraient nécessaires pour entretenir le même nombre de lampes à arc enfermé continu ; l'économie totale est en moyenne de 40 à 50 francs par lampe et par an et dans certaines installations elle a atteint 60 francs. Quant à la dépense résultant du remplacement des globes internes enfermant l'arc, elle n'est pas considérable ; elle est d'ailleurs un peu plus petite que la dépense de même nature dans le cas du courant continu car l'expérience a montré que dans les installations à courant continu il y a de 0,48 à 6,6 p. 100 de globes brisés et dans les installations à courant alternatif 0,18 à 5,5 p. 100 ; elle dépend naturellement beaucoup du soin apporté au nettoyage de ces globes.

(1) Il n'est peut-être pas inutile de rappeler à ce propos l'observation faite par M. Bochet à la dernière séance de la Société des Électriciens, que les Américains sont beaucoup moins difficiles que nous en matière de régularité de l'éclairage.

Digitized by Google

Une longue discussion s'engage à la suite de cette communication :

M. Allen déclare qu'ayant remplacé son installation de lampes à arc libre à courant continu de 1 200 bougies par des lampes à arc enfermé à courant alternatif, il n'a qu'à se louer de ce remplacement ; les consommateurs en sont également satisfaits : le bruit est moindre et le réglage meilleur.

M. Cutter cite une station centrale où se trouvaient six ou huit machines Thomson-Houston de 25 à 30 lampes, une machine bipolaire de 500 volts pour un transport de force motrice et deux alternateurs d'un ancien type. Le tout a été remplacé avantageusement par un unique alternateur dont le courant alimente des transformateurs à courant constant pour l'éclairage à arc enfermé, des moteurs alternatifs pour le transport de force motrice et alimente aussi le réseau qu'alimentaient les deux anciens alternateurs. La conduite de l'installation a été rendue plus facile et, en même temps, une économie a été réalisée sur la dépense de combustible.

M. Fleming, en réponse à une question qui lui est posée, dit que lorsque les transformateurs à courant constant sont placés dans une sous-station, il est inutile d'avoir un surveillant à demeure dans cette sous-station ; il suffit d'y envoyer un ouvrier au moment de la mise en marche, puis vers le milieu de la nuit pour s'assurer que l'installation fonctionne régulièrement et enfin au moment de l'extinction de l'éclairage.

M. Werdact, ingénieur d'une compagnie possédant une installation de 3 000 lampes à incandescence de 32 bougies et de 5 ampères disposées en séries sur des transformateurs à courant constant, dit que cette installation a donné toute satisfaction et que la régulation automatique des transformateurs est suffisamment bonne pour éviter toute régulation à la main. D'ailleurs pour mettre l'installation complètement à l'abri des conséquences d'un court-circuit chaque ligne est munie d'un coupe-circuit automatique fonctionnant sous l'influence d'une variation de 5 p. 100 dans l'intensité du courant. Le rendement de l'installation est de 95 à 96 p. 100. La durée des lampes est véritablement surprenante : beaucoup durent 10 000 heures en donnant encore généralement 25 bougies et plus rarement 20 bougies, quelques-unes ont fonctionné pendant 18 000 heures (!!). La durée moyenne n'est cependant que de 5 000 heures, car les lampes passent après une centaine d'heures de fonctionnement par une phase critique pendant laquelle un assez grand nombre sont mises hors d'usage ; celles qui subsistent durent extrêmement longtemps. L'auteur attribue cette longue durée au fait que les variations de voltage aux bornes de la lampe sont extrêmement petites : avec 300 à 400 lampes en série la rupture et la mise hors circuit d'une douzaine d'entre elles ne modifient pas d'une manière appréciable la différence de potentiel aux bornes des autres. La puissance dépensée dans une lampe est de 95 watts au début (3 watts par bougie) et de 110 watts après 4 000 heures de fonctionnement. L'ampoule commence à noircir légèrement au bout de 2 000 heures.

M. Frund confirme les indications de M. Werdact relatives à la vie des lampes. Sa compagnie a environ 205 lampes en série ; pendant la dernière année le nombre des lampes remplacées mensuellement a été de 10 ; ce chiffre correspond à une durée moyenne de 5 000 heures.

M. Fleming mentionne, à propos de l'éclairage par lampes à incandescence en série, une installation où des transformateurs à courant constant, capables d'alimenter 500 à 600 lampes à arc mais n'alimentant que 100 de ces lampes, ont le surplus de leur puissance utilisé à l'alimentation de lampes à incandescence en série. Revenant sur la question des lampes à arc il dit qu'il serait avantageux de prendre des lampes à réflecteur renvoyant la lumière vers le sol : le prix de revient de la lampe est augmenté de 5 à 10 francs seulement tandis que la lumière utilisée est considérablement accrue. Le type de lampes qui lui paraît préférable est celui qui demande une intensité de courant de 6,6 ampères ce qui correspond à une puissance de 425 à 440 watts, la différence de potentiel aux bornes étant de 70 à 75 volts ; les lampes de 7,5 ampères peuvent également être employées bien que généralement des lampes aussi puissantes ne soient pas nécessaires. Les lampes à 6,6 ampères donnent dans un rayon de 15 mètres un éclairage égal à celui d'une lampe à arc libre de même consommation et fournissent au delà un éclairage bien meilleur.

M. Armour fait observer que, bien que l'éclairement donné par un arc enfermé continu, soit plus grand que celui donné par un arc enfermé

Digitized by Google

alternatif jusqu'à une distance d'environ 45 m de la projection de l'arc, il n'en résulte pas un avantage en faveur de l'arc continu, car en passant dans la zone d'éclairement maximum l'observateur s'accoutume à cet éclairement et, par contraste, il lui semble que les zones de moindre éclairement ne sont pas suffisamment éclairées.

M. Allen dit que, quoique n'ayant pu faire de mesures précises il a constaté, à Springfield, que l'ensemble de l'éclairage obtenu par des lampes à arc enfermé alternatif était meilleur que celui que donnait les lampes à arc libre continu employées auparavant.

Sur les économies possibles dans les stations centrales, par **H.-W. Frund.**

D'après l'auteur les dépenses nécessitées par l'entretien des compteurs des abonnés seraient des plus onéreuses pour les compagnies américaines de distribution d'électricité, principalement pour celles qui alimentent des villes de moins de 30 000 habitants et qui forment les 90 centièmes des compagnies de distribution des Etats-Unis. Aussi examine-t-il particulièrement dans sa communication les moyens propres à diminuer ces dépenses.

Le moyen le plus radical serait évidemment d'avoir des compteurs robustes ne se déréglant pas. Mais cette solution ne paraît pas être plus à la portée des électriciens américains qu'à celle de leurs collègues européens, car M. Frund se borne à recommander un certain nombre de palliatifs. L'un est d'enfermer les compteurs dans une enveloppe qui empêche les insectes, attirés par la douce température qui règne à l'intérieur de ces instruments, d'y pénétrer et d'y exercer leurs dégâts. Un autre consiste à tenir une comptabilité très exacte des dépenses occasionnées par chaque compteur afin de pouvoir reconnaître s'il n'y a pas avantage à remplacer un compteur plutôt que le réparer à maintes reprises.

La discussion de cette communication confirme l'opinion exprimée plus haut que les compteurs américains ne sont pas plus parfaits que ceux que nous possédons. A retenir dans cette discussion une remarque du docteur Jackson : qu'il serait préférable que les inventeurs cherchassent à perfectionner les types de compteurs existants qu'à créer de nouveaux types dont les qualités sont trop souvent compensées par des défauts dont les anciens sont exempts.

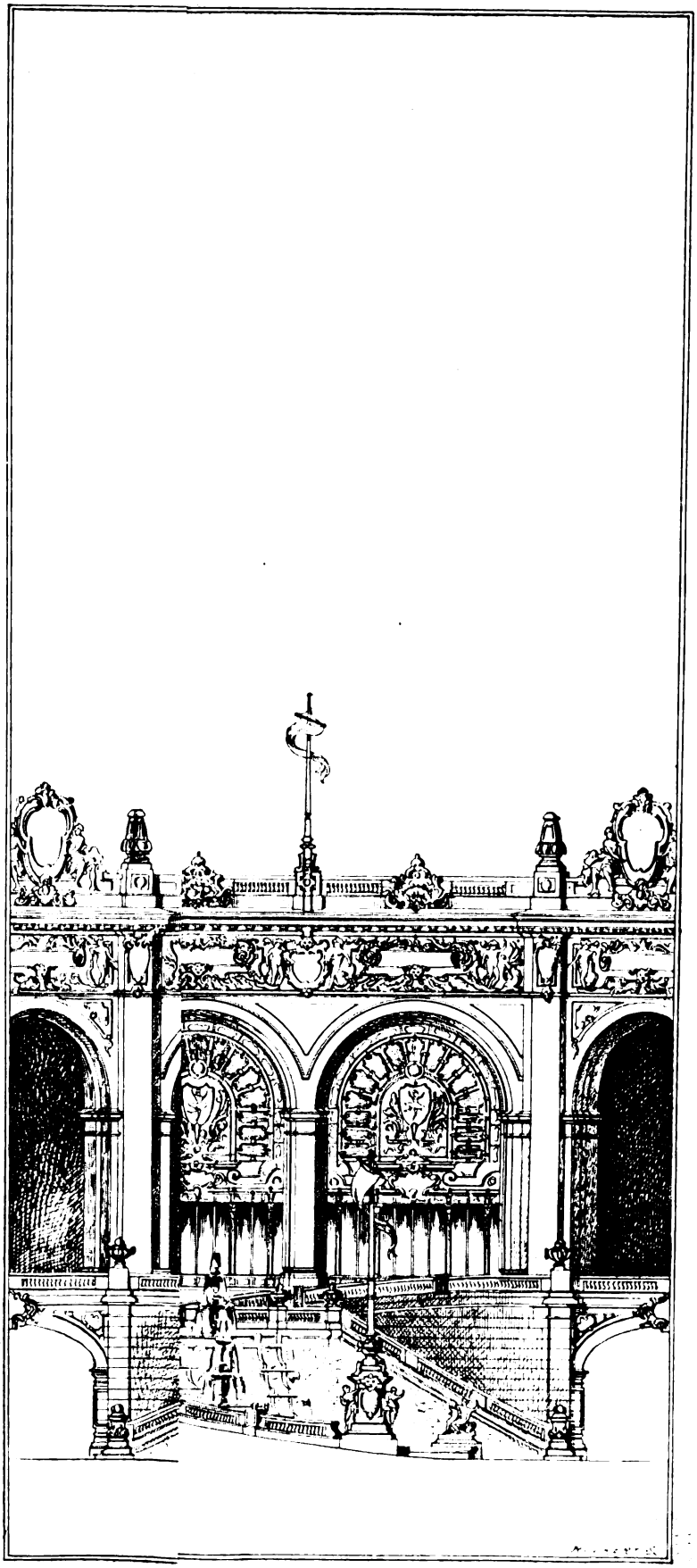
Comparaison des divers types de moteurs de stations centrales, par **A. W. Richter.**

L'auteur examine successivement et avec beaucoup de détails les divers types de moteurs à vapeur considérés au point de vue de leur application à la génération de l'électricité ; il insiste particulièrement sur leur régulation et leur rendement. A ce dernier propos il rappelle que le mauvais rendement de l'ensemble d'une installation électrique tient généralement à ce qu'elle fonctionne le plus souvent à très faible charge et qu'il y a généralement grande économie à augmenter le facteur de charge par l'emploi d'une puissante batterie d'accumulateurs malgré les dépenses d'entretien assez élevées que nécessitent ces appareils ; à l'appui de cette opinion, il cite une station centrale où l'établissement d'une batterie d'accumulateurs a permis de réaliser une économie de 11 tonnes de combustible par semaine et en outre la dépense d'établissement et d'exploitation d'un groupe électrogène de 300 chevaux.

Ses conclusions sont les suivantes : 1° Emploi de moteurs aussi puissants que possible en vue de diminuer les pertes par condensation dans les cylindres, les frais d'établissement par unité de puissance, et les frais d'exploitation. 2° Choix du type de moteur le plus économique étant données les conditions locales ; pour les petits moteurs et les moteurs de réserve les machines verticales, compound, à condensation, à grande vitesse et à accouplement direct donnent d'excellents résultats ; quand plusieurs groupes générateurs alimentent le même circuit, il est avantageux qu'au moins l'un d'eux fonctionne constamment à pleine charge. 3° Emploi d'une batterie d'accumulateurs égalisant la répartition de la charge ; la puissance du moteur est alors choisie pour la charge moyenne. 4° Emploi de moteurs à accouplement direct. 5° Grand soin dans le choix des appareils auxiliaires qui souvent réduisent dans une forte proportion le rendement global dans une installation.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 24 Février 1900. 7e Année. — N° 8.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

EXPOSITION UNIVERSELLE

LE PALAIS DE L'ÉLECTRICITÉ ET LE CHATEAU D'EAU

L'Exposition de 1900 est la première en France où l'électricité aura son palais. Cette fée, qui reste encore mystérieuse, mais que le génie de l'homme est parvenu cependant à asservir, nous réserve sans doute encore bien des surprises. Et pourtant quel chemin parcouru déjà, depuis vingt ans !

Il a fallu des siècles pour que la science trouve entre les phénomènes d'attractions électriques de l'ambre ou du verre frotté, et les phénomèmes magnétiques, un rapprochement qui, une fois connu, fut le point de départ d'une série de découvertes aussi étonnantes qu'ininterrompues.

L'électricité s'est montrée la forme vraiment supérieure de l'énergie, à tel point qu'elle est devenue par sa facilité d'application à toutes nos exigences, par sa malléabilité, si j'ose dire, un intermédiaire forcé dans toutes les branches de l'industrie. Ce ne sera donc pas une surprise pour nous de trouver à l'Exposition de 1900 une véritable apothéose de l'électricité.

C'est donc une place d'honneur que l'Administration de l'Exposition a assignée au palais qui sera un cadre digne de la fée qu'il abritera, grâce à l'habileté et à la science artistique de MM. Hénard et Paulin.

Le Palais de l'Electricité occupe toute la largeur du Champ-de-Mars, contre l'ancienne Galerie des machines, cette merveille en fer, affectée cette fois-ci à l'Agriculture et aux Produits alimentaires, avec dans son axe, une immense salle de fête (voir la planche jointe à ce numéro).

En avant-corps, se trouvera le Château d'Eau, avec une vaste niche du fond de laquelle

Digitized by Google

jaillira une source bouillonnante et tumultueuse de 1 300 litres par seconde, et dont les nappes iront, par cascades successives, se perdre dans les bassins du Champ-de-Mars. Au fond de ces bassins et de ces vasques, des groupes allégoriques lanceront de tous côtés mille jets d'eau, formant le spectacle le plus divers et le plus gai que l'on puisse concevoir.

Les parois de la niche, décorée d'attributs fantastiques, empruntés par l'imagination de M. Paulin, à quelque pays de rêves et de fées, laisseront passer le soir des flots de lumière bigarrée, grâce à de puissants foyers dissimulés dans la construction même.

Deux rampes gracieuses partant des jardins du Champ-de-Mars contourneront les bassins et donneront directement accès dans un élégant portique, de plein-pied avec le premier étage du Palais de l'Electricité. Il était nécessaire de donner au Château d'Eau des dimensions grandioses, pour accorder aux cascades lumineuses leur plain effet. Dès lors la base du Palais de l'Electricité se trouvait cachée et sa façade reportée à une grande hauteur ne pouvait être qu'une crête dont les contours devaient s'harmoniser avec la conception du Château d'Eau. La tâche était lourde, mais elle ne devait pas effrayer le talent de M. Hénard.

Un diadème de feu couronnera les eaux flamboyantes du Château d'Eau et fera du fond du Champ-de-Mars un décor de théâtre, qui réalisera tous les soirs l'apothéose de la lumière électrique.

M. Hénard fit donc de sa façade une crête à trois courbes, qui dans la journée, apparaîtra comme une fine dentelle, presque suspendue, et qui le soir s'éclairera brillamment, venant compléter les effets lumineux des cascades et des jets d'eaux. Un motif milieu, dominant tout l'ensemble, symbolisera l'Electricité, sous l'aspect d'une femme de puissante stature, tenant deux sceptres — les deux électrodes de la foudre. — Un char, traîné par un dragon, qui est signe de force, et par un pégase, qui est signe de poésie, supportera la statue de la fée. Au-dessous, la date 1900 en chiffres fulgurants.

Cette allégorie sera, le soir, entourée d'une auréole lumineuse, derrière laquelle un puissant réflecteur enverra des rayons dans toutes les directions.

Je ne sais si j'ai rendu avec assez de précision et de fidélité la conception des architectes distingués dont je citais tout à l'heure les noms. L'effet qu'elle produira sera sans nul doute supérieur à l'idée que nous saurions nous en faire et l'admiration qu'elle soulèvera sera pour eux un dédommagement légitime de leur immense labeur.

Puisque le visiteur venant du Champ-de-Mars pénétrera directement au premier étage du Palais, disons tout de suite que ce premier étage se compose d'une grande salle centrale et de deux galeries occupant toute la largeur du palais. Ces galeries seront reliées au palais de l'Agriculture et des Produits alimentaires par quatre galeries secondaires. De même, on aura directement accès dans la grande salle du Palais de l'Electricité par la grande Salle des fêtes. Toutes ces galeries, ainsi que la salle centrale serviront à l'exposition des appareils d'électricité qui ont été divisés en cinq classes (23 à 27), formant le groupe V (1), dont

(1) Ce groupe forme les cinq classes suivantes :

Classe 23 : *Production et utilisation mécaniques de l'électricité :*
Appareils générateurs, dynamos, moteurs, transformateurs, commutatrices, locomotives et tramways électriques, ascenseurs, treuils, grues, cabestans, ponts-roulants, machines-outils, touage magnétique, appareils de sûreté et de réglage. (*Président :* M. Mascart.)

Classe 24 : *Electrochimie :*
Piles, accumulateurs, appareils de galvanoplastie et d'affinage de métaux, applications à la chimie industrielle. (*Président :* M. Moissan.)

Classe 25 : *Eclairage électrique :*
Lampes et bronzes d'éclairage électrique, régulateurs, charbons, installations privées, stations centrales, phares, projecteurs, compteurs, photomètres. (*Président :* M. H. Fontaine.)

Classe 26 : *Télégraphie et téléphonie :*
(*Président :* M. Raymond.)

Classe 27 : *Applications diverses :*
Appareils de mesure, électricité médicale, horloges, signaux, explosceurs, fours, soudure, chauffage. (*Président :* M. d'Arsonval.)

Digitized by Google

M. Mascart est le président, M. Gosselin, l'ingénieur en chef et M. Tournaire, l'architecte.

Ajoutons une annexe pour la classe 24 (électrochimie) et une annexe pour l'exposition centennale (président M. Sartiaux).

Le rez-de-chaussée du palais forme deux véritables usines. La première, nommée usine La Bourdonnais comprend un hall de chaudières avec une cheminée monumentale de 80 m de hauteur et de 4,50 m de diamètre intérieur au sommet. Ce hall a 117 m de long sur 40 m de large et se trouve compris entre l'ancienne Galerie des Machines et la Galerie de 30 m. Les chaudières actionnent chacune séparément un groupe électrogène. Ceux-ci sont placés dans la galerie de 30 m de large qui forme la base du Palais de l'Electricité.

Une deuxième usine d'une disposition absolument semblable et symétrique par rapport à l'axe du palais, appelée l'usine Suffren contiendra les machines de provenance étrangère.

Nous connaissons maintenant le cadre. Un prochain article sera consacré à la production de l'énergie tant pour la force motrice que pour l'éclairage électrique.

E. Nelson-Uhry.

APPLICATION DE LA THÉORIE GRAPHIQUE

A L'ÉTUDE DES PRINCIPALES CANALISATIONS A COURANTS ALTERNATIFS ET POLYPHASÉS (1)

II. — Comparaison de la dépense de cuivre en ligne dans les principales canalisations a courants continu, alternatif et polyphasés.

Nous ferons cette comparaison pour un transport d'énergie électrique *à égalité de puissance transmise, de longueur des lignes et de perte par effet Joule dans celles-ci*, mais nous partirons de deux hypothèses différentes, quant à la tension ou voltage. Dans la première division nous admettrons *l'égalité des tensions maxima auxquelles l'isolant des lignes est soumis*, et, dans la seconde, *celle des tensions aux récepteurs*, lampes ou moteurs. La première division s'applique aux transports à grande distance et à haute tension et la seconde aux distributions fonctionnant à la tension ordinaire des récepteurs.

1° Transport d'énergie a haute tension, a égalité de tension maximum entre les fils de ligne. — Nous ferons la comparaison par rapport au courant continu.

Nous déterminerons d'abord la relation qui lie les tensions de travail (en fonction desquelles on écrit la puissance transmise dans chaque cas) en partant de l'égalité des tensions maxima agissant sur l'isolant. Cette relation nous donnera le courant correspondant au système étudié, par rapport au courant continu de comparaison. Nous écrirons ensuite l'égalité des pertes par effet Joule qui nous procurera le rapport des résistances des fils et des sections de ces derniers et, par suite, des volumes de cuivre employés.

A. Courant continu a deux fils (fig. 17). — Puissance totale produite $P = E_c I_c$.

Puissance perdue en ligne, pour deux fils, $W_c = 2R_c I_c^2$ (1).

Volume de cuivre pour deux fils de section S_c, soit $2S_c$ ou **2**.

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 17 février, p. 241.

Digitized by Google

B. Courant alternatif a deux fils, en fonctions sinusoidales (fig. 18). — Puissance $= E_{eff} I_{eff}$, pour laquelle $E_{eff}\sqrt{2} = E = E_c$ et $E_{eff} = \frac{E}{\sqrt{2}}$, à égalité de tension maximum.

On a donc, à égalité de puissance et de tension maximum :

$$P = (E_{eff})\ I_{eff} \text{ en alternatif} = \left(\frac{E_c}{\sqrt{2}}\right)\sqrt{2}\, I_c = E_c I_c \text{ en continu,}$$

d'où

$$I_{eff} = \sqrt{2}\, I_c$$

$$W_a = 2\, R_a (I^2_{eff}) = 2\, R_a (2\, I^2_c) \qquad (2)$$

(1) et (2) donnent :

$$2\, R_a = R_c\ ,\ R_a = \frac{R_c}{2}$$

et la section $S_a = 2S_c$.

Pour deux fils, $2S_a = 4S_c$

et le volume de cuivre peut être représenté par **4**.

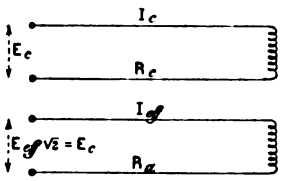


Fig. 17 et 18. — Circuits à courants continu et alternatif.

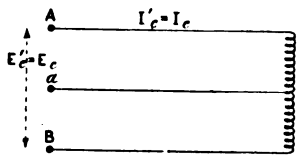


Fig. 19. — Lignes à courants continu et alternatif à trois fils.

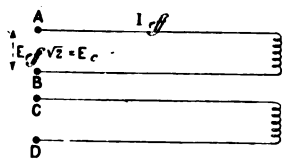


Fig. 20. — Lignes à courants diphasés à quatre fils.

C. Courants continu et alternatif a trois fils (fig. 19). — On voit à simple examen que les courants seront les mêmes dans les deux fils extrêmes A et B que dans les deux fils de la distribution ordinaire à deux fils, à égalité de puissance. A égalité de longueur et de perte en ligne, les sections et les volumes de cuivre de deux des fils seront aussi les mêmes. Si donc nous admettons un fil central de section égale à la moitié de celle des fils extrêmes, le volume total de cuivre pourra être représenté, en continu par le nombre **2,5** et en alternatif, par le nombre **5**.

D. Courants diphasés a quatre fils (fig. 20). — Puissance $= 2\, E_{eff} I_{eff}$.

$E_{eff}\sqrt{2} = E_c$, à égalité de tension maximum, d'où

$$E_{eff} = \frac{E_c}{\sqrt{2}}$$

on a donc :

$$2\ (E_{eff})\ I_{eff} \text{ en alternatif} = \left(\frac{E_c}{\sqrt{2}}\right)\sqrt{2}\, I_c \text{ en continu}$$

d'où $$I_{eff} = \frac{\sqrt{2}\, I_c}{2};$$

et $$W_d = 4\, R_d\, (I^2_{eff}) = 2\, R_c I^2_c$$

ou $$4\, R_d \left(\frac{2 I^2_c}{4}\right) = 2\, R_c\, I^2_c$$

d'où $$R_d = R_c\ ,\ S_d = S_c \text{ et } 4S_d = 4S_c$$

ce qui permet de représenter le volume de cuivre par 4. On pouvait d'ailleurs prévoir que

Digitized by Google

ce résultat serait le même que celui du courant alternatif puisque les deux courants diphasés équivalent chacun à la moitié d'un courant alternatif simple de même puissance totale.

E. Courants diphasés a trois fils (fig. 21). — Puissance $P = 2 E_{eff} I_{eff}$.

L'égalité de tension maximum donne :

$$E_{eff} \sqrt{2} \sqrt{2} = E_c \text{ et } E_{eff} = \frac{E_c}{2}$$

d'où

$$P = 2 (E_{eff}) I_{eff} = 2 \left(\frac{E_c}{2} \right) I_c \text{ en continu.}$$

Il vient donc :

$$I_{eff} = I_c$$

et, en admettant que le fil central B ait une section $\sqrt{2}$ fois plus forte et une résistance $\frac{1}{\sqrt{2}}$ fois plus faible que les fils extrêmes et que la perte en ligne soit la même qu'en continu :

$$W_d = 2 R_a I^2_{eff} + \frac{R_a}{\sqrt{2}} (\sqrt{2} I_{eff})^2$$

$$= 2 R_a I_c^2 + \frac{R_a}{\sqrt{2}} 2 I_c^2 = 2 R_c I_c^2$$

d'où

$$R_a + \frac{R_a}{\sqrt{2}} = R_a (1{,}707) = R_c$$

et

$$S_a = S_c \, 1{,}707$$

Le volume de cuivre peut donc être représenté par le nombre $(1{,}707)\, 2 + 1{,}707 \sqrt{2} = 5{,}828$.

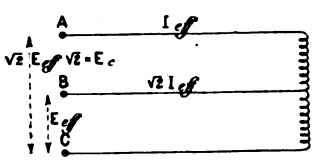


Fig. 21. — Ligne à courants diphasés à 3 fils.

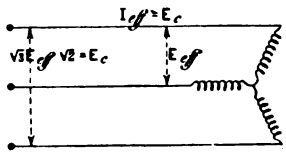


Fig. 22. — Ligne à courants triphasés en étoile.

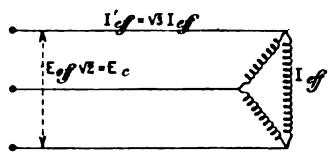


Fig. 23. — Ligne à courants triphasés en triangle.

F. Courants triphasés en étoile (fig. 22). — Puissance $P = 3 E_{eff} I_{eff}$.

L'égalité de tension maximum impose la relation :

$$\sqrt{3} E_{eff} \sqrt{2} = E_c,$$

d'où

$$E_{eff} = \frac{E_c}{\sqrt{2} \sqrt{3}}.$$

$$P = 3 (E_{eff}) I_{eff} = 3 \left(\frac{E_c}{\sqrt{2} \sqrt{3}} \right) I_{eff}, \text{ en triphasé} = E_c I_c \text{ en continu,}$$

d'où

$$I_{eff} = \frac{I_c \sqrt{2} \sqrt{3}}{3}$$

L'égalité de perte en ligne donne :

$$W_t = 3 R_t I^2_{eff} = 3 R_t I_c^2 \frac{2 \times 3}{9} = 2 R_c I_c^2$$

La dernière relation permet de calculer R_t et S_t.

$$R_t = R_c, \; S_t = S_c \text{ et } 3 S_t = 3 S_c$$

Le volume de cuivre est donc proportionnel à **3**.

Digitized by Google

G. Courants triphasés en triangle (fig. 23). — La puissance $P = 3 E_{eff} I_{eff}$.

L'égalité de tension maximum fournit l'équation :

$$E_{eff}\sqrt{2} = E_c$$

d'où

$$E_{eff} = \frac{E_c}{\sqrt{2}}$$

On a donc :

$$P = 3(E_{eff})\, I_{eff} = 3\left(\frac{E_c}{\sqrt{2}}\right) I_{eff} = E_c I_c$$

d'où

$$I_{eff} = I_c \frac{\sqrt{2}}{3}$$

et

$$I'_{eff} = I_c \frac{\sqrt{2}\sqrt{3}}{3} = I_c \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}.$$

L'égalité de perte en ligne impose la condition :

$$W_t = 3R_t I'^2_{eff} = 3R_t \frac{2}{3} I_c^2 = 2R_c I^2$$

d'où

$$R_t = R_c\,,\ S_t = S_c \text{ et } 3S_t = 3S_c$$

Le volume de cuivre est donc aussi proportionnel au nombre **3**.

2° Distribution d'énergie au voltage ordinaire des récepteurs (lampes ou moteurs). — A. Courant continu a deux fils. — La puissance totale $P = E_c I_c$, pour E_c aux récepteurs.

Perte en ligne $W_c = 2R_c I_c^2$.

Comme il y deux fils, soit $2S_c$ ou **2** le volume de cuivre.

B. Courant continu a trois fils (fig. 24). — Admettons que l'équilibre des ponts *ab* et *bc* est parfait et qu'il n'y a pas de courant dans le fil neutre C*b*. La tension entre A et B est alors de $2E_c$.

Puissance $P = 2E_c I'_c$ (à 3 fils) $= E_c I_c$ (à 2 fils).

d'où

$$I'_c = \frac{I_c}{2}.$$

$$W = 2R'_c\,(I'^2_c) = 2R'_c\left(\frac{I_c^2}{4}\right) \text{ (à trois fils)} = 2R_c I_c^2 \text{ (à 2 fils)}$$

d'où

$$R'_c = 4R_c$$

et

$$S'_c = \frac{S_c}{4}$$

En employant un fil central de section moitié moindre que celle des fils extrêmes, on a :

$$2\,1/2\,S'_c = \frac{5}{2\times 4} S_c = 0{,}625\, S_c$$

Le volume de cuivre est donc de **0,625**.

C et D. Courant alternatif a deux et trois fils. — Les schéma des montages sont les mêmes que pour le courant continu et la tension efficace remplace ici la tension continue.

Digitized by Google

A égalité de voltages continu et efficace, les volumes de cuivre sont évidemment les mêmes en courant alternatif qu'en courant continu. On a donc :

Courant alternatif à deux fils $V = 2$

Courant alternatif à trois fils $V = 0{,}625$.

E. Courants diphasés a quatre fils. — Comme nous l'avons déjà constaté dans la première division, en D, les deux courants diphasés sont égaux à la moitié d'un seul courant alternatif de même puissance. S'il y a deux fois autant de fils, ceux-ci ont une section moitié moindre et le volume de cuivre reste le même, c'est-à-dire 2.

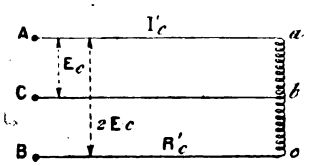


Fig. 24. — Ligne à courant continu à trois fils.

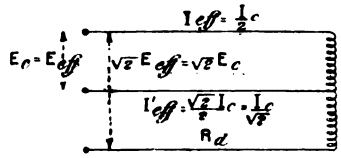


Fig. 25. — Ligne à trois fils pour courants diphasés.

F. Courants diphasés a trois fils (fig. 25). — Egalité de puissance :

$$P = 2E_{eff} I_{eff} = E_c I_c$$

d'où

$$I_{eff} = \frac{I_c}{2}, \quad I'_{eff} = \sqrt{2}\, I_{eff} = \frac{I_c}{\sqrt{2}}$$

et

$$R'_d = \frac{R_d}{\sqrt{2}},$$

à égalité de densité de courant dans les fils de ligne.

Egalité de perte en ligne :

$$W = 2R_d I^2_{eff} + R'_d I'^2_{eff} \text{ ou } 2R_d \frac{I_c^2}{4} + \frac{R_d}{\sqrt{2}} \frac{I_c^2}{2} = 2R_c I_c^2$$

d'où

$$R_d \left(\frac{2{,}414}{5{,}656}\right) \text{ ou } R_d\, 0{,}427 = R_c$$

$$S_d = 0{,}427\, S_d \text{ et } 2S_d + 1{,}414\, S_d = 1{,}458\, S_c$$

Le volume de cuivre est donc de $V = 1{,}458$.

G. Courants triphasés en étoile (fig. 26). Egalité de puissance :

$$P = 3E_{eff} I_{eff} = E_c I_c$$

d'où

$$I_{eff} = \frac{I_c}{3}$$

Egalité de perte en ligne :

$$3R_t I^2_{eff} = 3R_t \frac{I_c^2}{9} = 2R_c I_c^2$$

d'où

$$R_t = 6R_c$$

$$S_t = \frac{S_c}{6}, \quad 3S_t = \frac{1}{2} S_c$$

Le volume de cuivre est donc de $V = 0{,}5$ s'il n'y pas de fil neutre OD. Il est de 0,583 s'il y a un fil neutre de section $\frac{S_t}{2}$.

Digitized by Google

II. Courants triphasés en triangle (fig. 27). — Egalité de puissance :

$$P = 3E_{eff}I_{eff} = 3E_{eff}\frac{I'_{eff}}{\sqrt{3}} = E_c I_c$$

d'où

$$I'_{eff} = \frac{I_c}{\sqrt{3}}.$$

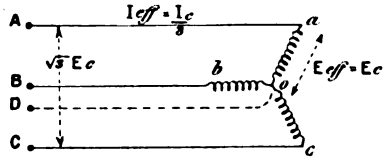


Fig. 26. — Ligne à courants triphasés en étoile.

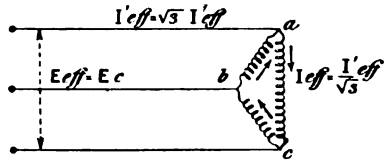


Fig. 27. — Ligne à courants triphasés en triangle.

Egalité de perte en ligne :

$$3R_t I'^2_{eff} = 3R_t \frac{I_c^2}{3} = 2R_c I_c^2$$

d'où

$$R_t = 2R_c,\ S_t = \frac{S_c}{2},\ 3S_t = \frac{3S_c}{2} = 1{,}5S_c.$$

Le volume de cuivre est donc proportionnel à **1,5**

RÉCAPITULATION

La récapitulation des résultats qui précèdent, concernant la dépense de cuivre en ligne, est indiquée dans le tableau ci-joint.

Nous ne discuterons pas la valeur relative des chiffres ni l'emploi de tel ou tel mode de canalisation, nonobstant une dépense plus forte. Bref, nous n'analyserons pas chaque genre de distribution d'énergie aux points de vue théorique et pratique.

GENRE DE DISTRIBUTION de l'énergie électrique.	NOMBRE PROPORTIONNEL à la dépense en cuivre pour le transport d'une même puissance à une même distance avec même perte par effet Joule en ligne.	
	à égalité de tension maximum entre les fils.	à égalité de tension efficace aux récepteurs.
Courant continu à 2 fils. .	100	100
» » 3 fils. .	125	31,25
Courant alternatif à 2 fils. .	200	100
» » 3 fils. .	250	31,25
Courants diphasés à 4 fils. .	200	100
» » 3 fils. .	291,4	72,9
» triphasés en étoile sans fil neutre. .	150	25
» triphasés en étoile avec fil neutre. .	175	29,2
» triphasés en triangle	150	75

Les bons ouvrages classiques sur l'électricité et les périodiques sont suffisamment détaillés sur cette question.

Notre but étant d'exposer simplement la détermination des conditions de fonctionne-

Digitized by Google

ment des circuits à courants polyphasés et la dépense en cuivre pour chaque système, notre tâche nous paraît remplie.

Nous ferons cependant remarquer, en terminant, que le rapport des dépenses en cuivre des systèmes à courants continu et alternatifs (polyphasés), à égalité de tension maximum, est en général plus à l'avantage du courant continu que ne l'indiquent les chiffres du tableau. On sait, en effet, qu'en pratique, les courbes de forces électromotrices et de courant sont rarement sinusoïdales et que le rapport de la tension maximum d'un courant alternatif, à sa tension efficace, peut être plus grand que $\sqrt{2}$. On sait aussi que les effets de capacité et de self-induction compliquent encore le problème en provoquant parfois des excès de tension maximum que le calcul est impuissant à prévoir assez exactement jusqu'à ce jour et qu'il est bien difficile de combattre dans certains cas.

S. Hanappe.

ACCUMULATEURS POUR AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

LE CONCOURS INTERNATIONAL DE L'AUTOMOBILE CLUB (1)

17-P. — Accumulateur de la Société des soudières électrolytiques

Plaques. — Le même quadrillage en plomb antimonieux sert de support à la matière active des deux plaques positive et négative (fig. 15). Ce quadrillage n'a rien de particulier ; il comporte 841 cellules carrées dont 29 dans chaque sens. La matière active dont les cellules sont garnies par empâtage provient de l'oxydation à l'air du plomb spongieux obtenu dans la fabrication de la soude caustique par le procédé Hulin ; c'est un sous-produit de cette fabrication dans laquelle on traite un alliage de plomb et de sodium.

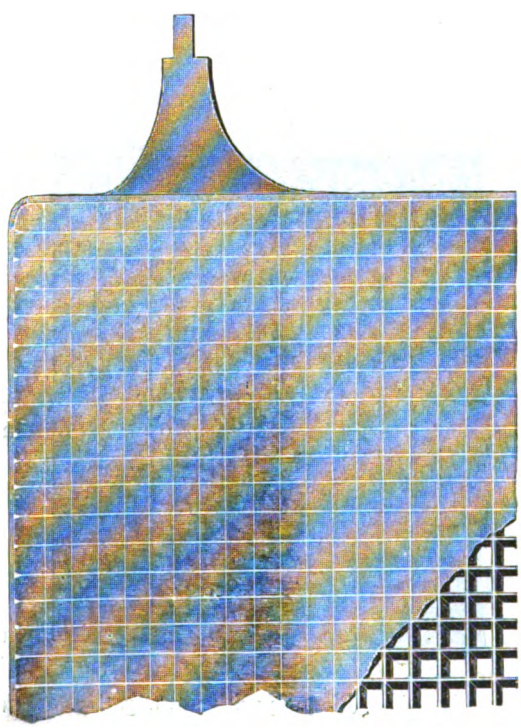


Fig. 15. — Plaque positive et négative.

Montage. — Les plaques de même polarité sont soudées à une barre de connexion portant la queue qui sert de pôle à l'élément. L'isolement des plaques est obtenu par quatre peignes en ébonite. Les plaques reposent sur des tasseaux placés au fond du bac.

Électrolyte. — Son poids est de 2,650 kg, son volume de 2120 cm^3. A la densité de charge il contient 800 gr d'acide libre SO^4H^2.

Bac. — Le bac est en ébonite à paroi de 2,5 mm d'épaisseur; il ne porte aucune saillie ni à l'intérieur ni à l'extérieur; il est fermé par un couvercle à emboîtement qui vient pénétrer à l'intérieur et s'appuyer sur les bords. Dans ce couvercle sont ménagés trois trous, deux pour la sortie des pôles de la batterie et un troi-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* des 13 et 27 janvier et des 3 février, p. 57, 130 et 171.

...

Digitized by Google

sième pour l'évacuation des gaz à la charge; ce dernier est fermé par un bouchon de caoutchouc.

Les données caractéristiques de cet accumulateur sont indiquées dans le tableau ci-joint.

Plaques positives.	
Nombre	7
Dimensions en cm :	
Hauteur	15
Largeur	15
Épaisseur	0,45
Poids en kg	0,530
Poids de support en kg	0,270
Poids de la matière active en kg	0,260
Plaques négatives.	
Nombre	8
Dimensions en cm :	
Hauteur	15
Largeur	15
Épaisseur	0,45
Poids en kg	0,565
Poids du support en kg	0,270
Poids de la matière active en kg	0,295
Bac.	
Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	21,5
Longueur	15
Largeur	16
Poids en kg	0,850
Électrolyte.	
Poids en kg	2,650
Volume approximatif en dm^3	2,15
Densité :	
Fin de charge	1,220
Fin de décharge	1,190
Poids total de l'élément complet en kg	13,800

18-J et 23-B. — Accumulateurs Titan (Franz Heimel, de Vienne)

N° 18-J. — *Plaques.* — Les plaques de cet élément sont toutes deux du même type et de fabrication identique (fig. 16); elles participent à la fois de la plaque Planté et de la plaque à oxydes rapportés. Leur épaisseur est la seule différence extérieure que présentent entre elles les plaques positives et négatives.

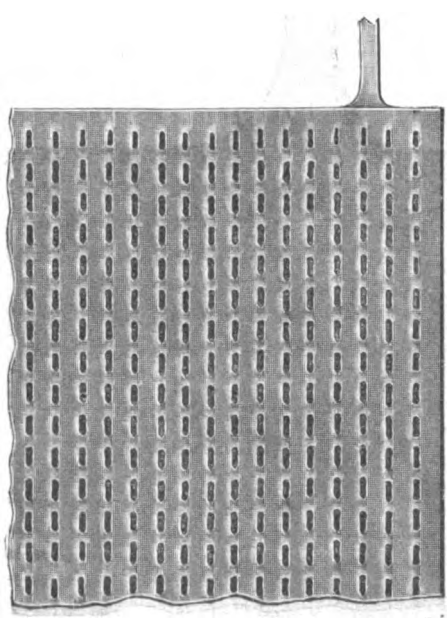


Fig. 16. — Plaque positive et négative.

Ces plaques présentent cette particularité que la matière active, au lieu d'être en contact direct avec l'électrolyte, comme dans la plupart des éléments à oxydes rapportés, est contenue dans un sac formé de deux feuilles de plomb doux de faible épaisseur; les deux feuilles sont de dimensions inégales : plus grande, de façon à pouvoir être rabattue sur la première pour fermer le sac. Quand l'empâtage est terminé et que les deux feuilles sont réunies ensemble, on perfore chacune d'elles de trous ayant une forme rectangulaire, et placés de telle sorte que les perforations de chaque feuille ne se correspondent point; ensuite, on repousse à l'intérieur de la masse de matière active toutes les languettes de plomb qui ont été détachées de la feuille par trois côtés seulement dans le travail de perforation. La matière active se trouve donc sectionnée en une grande quantité de couches minces par ces languettes métalliques qui sont au nombre de 1040 sur chaque face de la plaque.

La queue de connexion est formée d'une bande de plomb doux laminé de 1 mm d'épaisseur environ; elle est soudée sur le bord supérieur du sac.

Digitized by Google

Le plomb employé pour la construction de la plaque négative est un peu plus mince que celui de la plaque positive.

Montage — Les plaques de même polarité sont soudées à une barre de connexion qui porte la prise de courant. Leur isolation est assurée par des feuilles de celluloïd très finement perforé, qui sont renforcées par des nervures placées sur chaque face dans le sens de la hauteur. Ces nervures disposées tous les centimètres sur la largeur de la feuille sont simplement soudées à ces feuilles.

L'ensemble des plaques repose sur un châssis placé au fond du bac, qui est formé de 11 supports en celluloïd portant des encoches : ces supports sont réunis par deux traverses en celluloïd placées aux extrémités.

Les divers éléments sont reliés électriquement entre eux par soudure directe des prises de courant de polarité inverse.

Electrolyte. — Le niveau de l'électrolyte est beaucoup au-dessus du sommet des plaques; cela est nécessité par ce fait que l'espace disponible est insuffisant pour contenir la quantité d'électrolyte correspondant au poids d'acide indispensable pour le fonctionnement de l'élément. La quantité d'acide libre SO^4H^2 contenue dans l'électrolyte à la densité de fin de charge est de 900 gr environ.

Bac. — Le bac est en ébonite unie, de 3 mm environ d'épaisseur; il est fermé par une planchette en bois percée d'un trou central qui flotte sur l'électrolyte.

Le tableau suivant résume les dimensions et poids de cet accumulateur.

Plaques positives.	
Nombre	5
Dimensions en cm :	
Hauteur	16
Largeur	10
Epaisseur	0,7
Poids en kg	0,890
Plaques négatives.	
Nombre	6
Dimensions en cm :	
Hauteur	16
Largeur	10
Épaisseur milieu	0,7
— extrêmes	0,3
Poids en kg	0,450
Bac.	
Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	25
Longueur	13,5
Largeur	12
Poids en kg	0,565
Électrolyte.	
Poids en kg	2,450
Volume approximatif en dm^3	1,84
Densité :	
Fin de charge	1,28
Fin de décharge	1,18
Poids total de l'élément complet en kg	12

N° 23-B. — Cet élément est identiquement semblable au précédent comme construction. La seule différence que présentent entre eux ces deux éléments est l'épaisseur des plaques. Dans l'élément n° 23,-B, toutes les plaques négatives ont 3 mm d'épaisseur, tandis que dans le n° 18-J, ce ne sont que les plaques extrêmes qui ont cette épaisseur, les plaques intermédiaires ayant la même épaisseur que les positives, c'est-à-dire 7 mm.

Les dimensions et poids sont donnés dans le tableau suivant :

Plaques positives.	
Nombre	5
Dimensions en cm :	
Hauteur	16
Largeur	10
Épaisseur	0,7
Poids en kg	0,750
Plaques négatives.	
Nombre	6
Dimensions en cm :	
Hauteur	16
Largeur	10
Épaisseur	3
Poids en kg	0,333

Digitized by Google

Bac.

Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	25
Longueur	13,5
Largeur	12
Poids en kg	0,565

Électrolyte.

Poids en kg	2,200
Volume approximatif en dm³	1,72
Densité :	
Fin de charge	1,28
Fin de décharge	1,18
Poids total de l'élément complet en kg	10

19-M. — Accumulateur Pope

Cet élément ne diffère du n° 22-S, du même fabricant, que nous avons décrit en détail (p. 176), que par le nombre des plaques et par l'isolation des plaques entre elles.

Dans l'élément M, les plaques positives ne sont pas placées dans un bac d'ébonite perforée, les négatives seules sont isolées ainsi et il n'y a que 13 plaques au lieu de 17.

Le tableau ci-dessous indique les données caractéristiques de cet accumulateur.

Plaques positives.

Nombre	6
Dimensions en cm :	
Hauteur	20
Largeur	11,5
Épaisseur	1,3
Poids en kg	1,100

Plaques négatives.

Nombre	7
Dimensions en cm :	
Hauteur	20
Largeur	11,5
Épaisseur	0,5
Poids en kg	0,600

Bac.

Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	26,5
Longueur	19,5
Largeur	12
Poids en kg	0,970

Électrolyte.

Poids en kg	2,100
Volume approximatif en dm³	1,65
Densité :	
Fin de charge	1,285
Fin de décharge	1,241
Poids total de l'élément complet en kg	16,500

(*A suivre*)

A. Bainville.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Les agrandissements de l'usine électrique de la ville de Zurich.

En 1896, M. Jacquin donnait dans *L'Éclairage Électrique*, une fort intéressante étude sur les installations électriques de la ville de Zurich (1). Depuis cette époque bien des modifications ont été apportées et nous allons indiquer les agrandissements qui ont été faits à l'usine centrale de Letten (1).

Voici, rapidement rappelé, quel était l'équipement de la station tel que l'a décrit M. Jacquin.

Des turbines à basse pression (chute 2,50 m à 3,50 m fournie par la Limmat) entraînaient, à

(1) *L'Écl. Elect.*, t. VIII, p. 481 et 551, 12 et 19 septembre 1896.

(1) *Schweizerische Bauzeitung.* — « Die Erweiterungsbauten der Elektricitätswerkes der Stadt Zurich. » von Ingenieur H. Wagner, t. XXXIV, p. 43 (n° 5), 51 (n° 6), 59 (n° 7).

Digitized by Google

l'aide d'engrenages un arbre principal AB. Sur cet arbre, on devait prendre la puissance nécessaire pour quatre alternateurs de 300 chevaux (2 000 volts), leurs excitatrices et huit pompes élévatoires.

Afin d'aider aux turbines à basse pression, on avait disposé encore, pour augmenter la puissance disponible sur l'arbre principal, deux machines à vapeur compound, horizontales, de 300 chevaux et deux turbines à haute pression de 300 chevaux (chute de 155 m provenant d'un réservoir spécial dans lequel les pompes élèvent l'eau). Pendant le jour un seul alternateur tournait, entraîné par une des turbines à haute pression ; son excitatrice était mue par une petite turbine à haute pression spéciale. Le soir, on embrayait toutes les turbines et les machines électriques sur l'arbre principal.

Dans l'hiver 1896-97, les quatre alternateurs marchaient sans cesse à pleine charge, et on n'avait plus de rechange. On étudia alors l'agrandissement de la station : elle s'effectua en plusieurs campagnes et au début de l'hiver 1898, les travaux étaient terminés.

On s'est demandé s'il convenait de faire une station à vapeur spéciale pour les tramways, ou

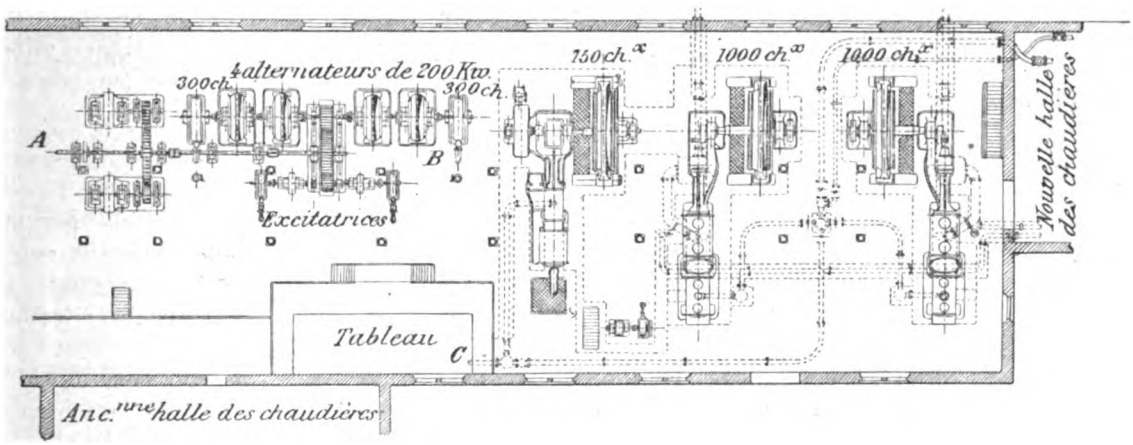


Fig. 1.

A. Partie de l'arbre général mettant en mouvement les pompes. Puissance transmise 800 chevaux. — B. Partie de l'arbre général mettant en mouvement les dynamos. Puissance transmise : 600 chevaux. — C. Tuyauterie venant de l'ancienne halle des chaudières.

une station de transformation alimentée par le courant de l'usine centrale. Cette dernière solution a prévalu. En effet elle permet d'utiliser tout le personnel et toutes les machines, même pendant les mois d'été où la charge est très faible pour l'éclairage ; de plus on peut faire ainsi l'économie d'une installation de réserve.

A. Station centrale de Letten. — 1. *Groupe à vapeur.* — Alternateurs Oerlikon, 50 périodes, pouvant donner des courants triphasés à la tension composée de 2 000 volts et du courant alternatif simple à la tension de 2 000 volts.

Il y a un alternateur de 750 chevaux à induit à barres, deux alternateurs de 1 000 chevaux à induit fixe à bobines. Chaque génératrice possède une excitatrice spéciale dont l'induit est calé sur le prolongement de l'arbre de la machine à vapeur.

Les données principales des alternateurs sont les suivantes :

	Alternateur de 750 chx.	Alternateurs de 1000 chx.
Nombre de tours	100	100
Puissance en kwts comme machine monophasée	412,5	660
Puissance en kilovolt-ampères comme machine triphasée	750	1200
Diamètre du système inducteur	4,700 m	4,990 m
Poids du système inducteur tournant	25 t	41 t

Le système inducteur agit comme volant et donne à la machine à vapeur un coefficient de régularité de $\frac{1}{250}$.

Les machines à vapeur sont des machines compound tandem, à double expansion ; la pression d'admission est de 9 kg.

La machine de 750 chevaux a été construite

Digitized by Google

par la maison Escher Wyss; elle est munie de la distribution Frickart. Le volant régulateur a un diamètre de 3 m. La machine est à condensation.

Les deux machines de 1 000 chevaux sont à distribution par soupapes et ont été construites par MM. Sulzer frères : elles sont à condensation et munies de régulateurs Porter.

Les dimensions principales des machines à vapeur sont les suivantes :

	Machine de 750 chx	Machines de 1000 chx
Nombre de tours . .	100	100
Diamètre cylindre HP	670 mm	680 mm
Diamètre cylindre BP	1100 mm	1100 mm
Course	900 mm	1300 mm
Puissance pour des introductions de 28 p. 100	880 chx indiqués	1160 chx ind.
	750 chx effectifs	1000 chx eff.
de 40 p. 100	1020 chx ind. . .	1370 chx ind.
	885 chx eff . . .	1200 chx eff.

Les essais ont montré que les machines de 1 000 chevaux consomment à pleine charge par cheval indiqué et par heure 5,84 kg de vapeur.

2. *Chaudières.* — Il y a sept chaudières doubles de 180 m² de surface de chauffe; on alimente les grilles avec du coke. Chaque chaudière est munie d'un surchauffeur qui élève la température de la vapeur d'environ 250° C.

Les dimensions principales sont les suivantes :

Chaudière inférieure.

Diamètre du corps	2,370 m
Longueur de la chaudière . . .	5 m
Carneaux	0,80 m à 1 m

Chaudière supérieure.

Diamètre du corps.	2,160 m
Longueur de la chaudière . . .	3,900 m
106 tubes d'acier forgé de . . .	0,095 m (diam. extér.)
Dôme de vapeur (diamètre). . .	0,900 m

Timbre 9 1/2 kg.

La cheminée a 62 m de hauteur.

L'alimentation se fait par deux pompes à vapeur duplex, Weise et Monsky donnant 350 litres par minute; deux injecteurs forment la réserve. — Enfin une troisième réserve est constituée par l'eau de la ville (pression 16 atmosphères), qui peut alimenter directement les chaudières.

3. *Tableau.* — Il ne présente rien de bien particulier.

Le réglage des alternateurs des groupes à vapeur s'obtient à l'aide de résistances introduites dans le circuit d'excitation : les quatre anciens alternateurs nécessitent un double réglage : d'abord l'introduction de résistances dans le circuit d'excitation de chacun d'eux et la manœuvre d'une résistance sur le circuit inducteur de leur excitatrice commune.

B. Station de transformation. — Le courant transformé sert à alimenter certaines lignes de tramways. Le bâtiment de la station est placé à peu près au centre des lignes alimentées : la station centrale mesure au compteur le courant envoyé à chaque ligne.

1. *Transformateur.* — Chaque groupe transformateur se compose d'un moteur triphasé, sous 2 000 volts, directement accouplé par manchon élastique à une dynamo à courant continu à 550 volts. Le moteur est asynchrone, avec dispositif de démarrage par résistances liquides. Les moteurs peuvent donner sur leur arbre 300 chevaux effectifs à 370 tours par minute.

Les dynamos à courant continu sont à quatre pôles, à induit en tambour, et balais en charbon. Elles sont de 200 kilowatts. Le bâti du moteur n'est pas isolé, mais celui de la machine à courant continu est isolé de la terre par un grand nombre d'isolateurs. Ces groupes fonctionnent presque sans bruit et c'est un avantage pour une station située au milieu d'une ville.

2. *Tableau.* — Il a cette particularité que les appareils et les conducteurs à courant alternatif sont complètement séparés et ne peuvent être approchés par les employés qui les manœuvrent.

Ils sont disposés dans un couloir en dessous des moteurs et les appareils sont commandés à l'aide de leviers.

Pour les résistances liquides de démarrage, on a construit des bacs en béton : on peut, de la salle des machines même, y enfoncer les électrodes de fer à l'aide d'un appareil à vis sans fin.

Les disjoncteurs automatiques sont montés de telle sorte qu'on peut se rendre compte s'ils ont fonctionné sous l'influence d'un court-circuit momentané ou non. Entre le disjoncteur et la ligne, on peut intercaler une résistance telle, qu'un

Digitized by Google

ampèremètre mis en circuit avec elle marque 20 ampères dans le cas d'un court circuit franc.

La station de transformation est construite pour quatre groupes, et n'en comprend actuellement que trois. — Elle est reliée à la station centrale par une ligne de 2,3 km, formée de trois fils de chacun 3,50 mm² de section.

Voici les prix relatifs à l'installation :

A. *Station centrale de Letten.*

I. Dynamo à vapeur complète de 750 chx	100 000	
2 dynamos à vapeur complètes de 1000 chx	350 000	
Tuyauterie dans la salle des machines	30 000	
Fondations pour les 3 groupes	30 000	
Total		fr : 530 000
II. Tableau (installation nouvelle)		20 000
III. Chaudières (installation nouvelle) : 7 chaudières de 180 m²	230 000	
Alimentation et tuyauterie	30 000	
Total		fr : 260 000
IV. Agrandissement de la salle des machines	97 000	
Réfection de la salle des chaudières, fondations et cheminée	173 000	
Total		fr : 270 000
Total pour la station centrale :		fr : 1 080 000

B. *Sous-station de transformation.*

I. 3 groupes transformateurs de 300 chx	90 000	
II. Tableau complet	25 000	
III. Bâtiment, fondations, pont roulant	47 000	
IV. Conducteurs : station centrale et transformatrice	70 000	
Total pour la station transformatrice :		fr : 232 000

Le coût total de l'agrandissement est donc en chiffres ronds, de 1 312 000 fr. Pour la station centrale, le prix est d'environ 400 fr par cheval, pour la station de transformation, 260 fr.

A l'heure actuelle, voici donc ce que comprennent les installations électriques de la ville de Zurich.

A. Station centrale a Letten

I. *Anciennes installations adjointes aux services des pompes élévatoires.*

4 alternateurs à courant monophasé (type Kapp), 2 000 volts, 200 kwts à 200 tours par minute.

2 excitatrices : chacune étant suffisante pour l'excitation des 4 alternateurs.

2 dynamos à courant continu, 550 volts, 150 kwts à 350 tours par minute.

2 turbines à haute chute, directement couplées avec l'arbre général des alternateurs : chaque turbine est de 300 chevaux, 200 tours par minute : pression 16 atmosphères.

2 turbines à haute chute, directement couplées avec l'arbre général des excitatrices, chacune est de 35 chevaux, 400 tours par minute ; pression 16 atmosphères.

II. *Nouvelle installation indépendante du service des pompes.*

1 groupe moteur à vapeur, alternateur de 750 chx.

2 groupes moteur à vapeur, alternateur de 1 000 chx.

1 turbine à haute pression avec alternateur triphasé de 35 chevaux (éclairage de la station centrale).

7 chaudières doubles de 180 m², dans la nouvelle halle des chaudières.

B. Station de transformation pour tramways de la Selnaustrasse

3 groupes transformateurs de 2 000 volts en alternatif, 550 volts en continu. Chaque groupe est de 200 kwts en continu, 370 tours par minute.

C. Station de transformation pour l'éclairage de la nouvelle Tonhalle (2 000 lampes de 16 bougies).

1 groupe transformateur de 2 000 volts en alternatif, et 2 fois 105 volts en continu. Le groupe est de 60 kwts en continu, 330 tours par minute.

(Le moteur synchrone est l'ancien alternateur *de jour* de 70 kwts de la station de Letten. La machine à courant continu est une machine double avec 2 enroulements sur l'induit, 2 collecteurs.)

1 batterie d'accumulateurs de 2 fois 59 éléments doubles, système Pollak, capacité 1 500 ampère-heures ; courant de charge maximum 400 ampères ; courant de décharge maximum 200 ampères.

D. Station de transformation a la nouvelle poste

1 groupe transformateur de 2 000 volts en alternatif, et 160 volts en continu ; 15 kwts à 750 tours par minute.

1 batterie d'accumulateurs ; 58 éléments système Pollak, capacité 200 ampères-heure ; courant de charge maximum 180 ampères ; courant de décharge maximum 120 ampères.

Quant au personnel il comprend un ingénieur en chef, deux ingénieurs, l'un pour l'exploitation, l'autre pour les installations, et les employés suivants :

Pour l'exploitation :
1 conducteur de travaux ;
1 dessinateur ;
2 monteurs de câbles ;
2 aides-monteurs ;
20 à 40 ouvriers.
Aux stations, :
1 chef mécanicien ;
1 inspecteur (pouvant remplacer le chef mécanicien) ;

Digitized by Google

7 mécaniciens;
3 chauffeurs;
3 manœuvres.
Pour les installations, :
1 chef monteur;
6 ouvriers;
10 à 20 monteurs et aides-monteurs.
Enfin : 3 hommes pour s'occuper des lampes à arc, 2 contrôleurs de compteurs, 1 acheteur, 1 comptable, 4 commis, 1 magasinier et 2 manœuvres.

Voici maintenant quelques chiffres relatifs aux recettes en 1898 :

Fourniture de courant :	
Eclairage public	13 460,15 fr
— privé	526 315,60 »
Petits moteurs.	60 254,60 »
Tramways	15 660,15 »

Le capital d'installation aurait, paraît-il, rapporté 10 p. 100 en chiffres ronds.

J. GUILLAUME.

Recherches sur la courbe de court-circuit des alternateurs, par **Alexandre Rothert**. *Electrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 619, 637, 657, nos des 31 août, 7 septembre et 14 septembre 1899.

L'auteur rappelle ici des recherches et résultats d'essais, déjà vieux de trois ans, qui lui ont fourni jadis l'occasion d'émettre son opinion sur la question si controversée de la réaction d'induit dans les alternateurs.

Il donne d'abord le diagramme indiqué autrefois par lui dans l'*Electrotechnische Zeitschrift*.

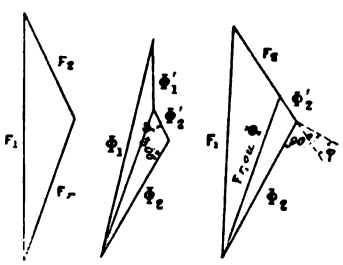


Fig. 1. Fig 2.

Désignons par F_1, F_2, F_r (figure 1), respectivement les ampères-tours, inducteurs, induits et résultants; soient d'autre part Φ_1, Φ_2 et Φ les champs correspondants, et Φ'_1 et Φ'_2 les champs de dispersion inducteur et induit.

Φ est parallèle à F_r, Φ'_2 à F_2 et Φ'_1 à F_1; Φ'_2 et Φ_2 font entre eux l'angle $90° + \varphi$.

On peut simplifier ce diagramme.

Φ'_2 et F_2 étant parallèles, on peut remplacer Φ'_2 par des ampères-tours correspondants, par le choix d'une échelle appropriée, en portant dans le diagramme des ampères-tours, au lieu de Φ'_2 la valeur $\Phi'_2 \frac{Fr}{\Phi}$. On agira de même pour Φ_2; et en négligeant Φ'_1 (ce que l'on peut faire sans inconvénient dans la plupart des cas, à cause de la faible saturation des inducteurs), on obtiendra le diagramme simplifié, représenté par la figure 2.

Supposons maintenant un alternateur triphasé fermé en court-circuit soit sur trois ampèremètres en étoile (fig. 3_a), ou en triangle (fig. 3_b),

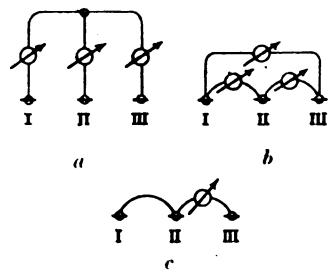


Fig. 3.

soit sur un seul ampèremètre (fig. 3_c); les résistances de ces ampèremètres étant faibles par rapport à la résistance intérieure de l'induit, surtout dans le cas de la figure 3_c.

Dans ces conditions : 1° la charge est parfaitement non inductive c'est-à-dire cos $\varphi = 1$; 2° la force électromotrice de la machine est égale aux chutes de tension ohmiques, c'est-à-dire très faible.

La force électromotrice est en phase avec le courant et coïncide avec F_2; d'autre part le champ Φ_2 est très petit.

Ces résultats sont représentés dans le dia-

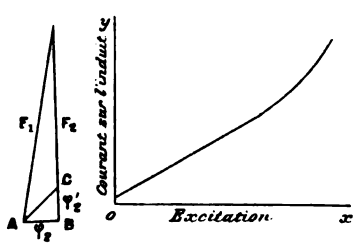


Fig. 4 et 5.

gramme de la figure 4; cependant en pratique $\Phi_2 = AB$ est beaucoup plus petit que sur la figure, de telle sorte que dans le triangle rec-

Digitized by Google

tangle ABD, on a sensiblement AD = BD, c'est-à-dire $F_1 = F_2 + \Phi'_2$, Φ'_2 étant évalué en unités convenables comme il a été dit plus haut, d'où cette loi :

Dans un alternateur en court-circuit, les ampères-tours inducteurs sont égaux à la somme des ampères-tours induits et de l'équivalent en ampères-tours de la dispersion magnétique de l'induit.

Les ampères-tours inducteurs sont faciles à mesurer, et on en déduit aisément la somme des ampères-tours inducteurs et des ampères-tours équivalents aux fuites.

Malheureusement, on ne sait pas encore évaluer les ampères-tours de l'induit, sans quoi on aurait là un moyen excellent d'étudier les fuites en les déduisant par différence.

Dans les machines à courants triphasés, on emploie ordinairement l'expression

$$F_2 = \frac{m_2}{2} J_2 \sqrt{2}.1,5 = 2,12 \frac{m_2}{2} J_2 \qquad (1)$$

où $\frac{m_2}{2}$ désigne le nombre de spires par phase, J_2 le courant dans chaque fil.

D'après l'auteur, la valeur du facteur exprimé ici par 1,5, peut varier entre 1,5 et 1,7.

Les ampères-tours de l'induit sont proportionnels au courant J_2 ; il en est de même d'ailleurs des fuites, tant que les isthmes qui séparent les dents ne sont pas saturés par le champ correspondant : il en résulte que la courbe de court-circuit doit être une droite, passant par l'origine ; cette droite peut s'incurver pour les fortes intensités pour la raison donnée plus haut, et elle peut couper l'axe des y (fig. 5), par suite de l'influence du magnétisme rémanent : dans ce qui suit on corrigera cette courbe en lui substituant une parallèle menée par l'origine des coordonnées.

Remarques générales. 1° *Alternateurs polyphasés.* — Si l'on prend simplement pour ampères-tours de l'induit l'expression (1) relative aux machines triphasées, se plaçant ainsi dans le cas de courants et d'enroulements sinusoïdaux, d'après l'auteur, la valeur du rapport $\frac{F_2}{F_1}$ varie entre 0,65 et 1, suivant le nombre d'encoches et leur forme, la position relative des bobines et la grandeur de la dispersion de l'induit.

Ajoutons que, tant que dans le triangle de la figure 4, AB reste petit par rapport à AD, la vitesse est sans influence sur la courbe de court-circuit.

L'entrefer n'exerce pas non plus grande influence sur cette courbe : en effet, les ampères-tours induits ne dépendent pas de l'entrefer ; la dispersion de l'induit (d'ailleurs faible dans les bonnes machines) n'en dépend que faiblement, d'où il résulte qu'une modification de l'entrefer n'entraîne qu'un faible changement dans cette couche en agissant sur AB supposé très petit ; c'est seulement sur la caractéristique à vide que se fait sentir l'action de cette modification.

L'influence de la forme des encoches s'exerce surtout sur la dispersion, et son action sur la courbe de court-circuit dépend de la grandeur de cette dispersion par rapport aux ampères-tours induits. Une modification de l'arc des pôles revient à une modification de l'entrefer, sauf une répercussion un peu plus notable sur la dispersion.

2° *Alternateurs monophasés.* — Les mêmes considérations s'appliquent aux alternateurs monophasés, sous les restrictions suivantes ; d'après l'auteur :

Il faut prendre comme ampères-tours induits la valeur moyenne entre o et la valeur maximum du produit des ampères par le nombre de spires, c'est-à-dire $\frac{2}{\pi}$ du nombre des ampères-tours maxima. Nous désignerons par F_2 cette valeur moyenne.

La dispersion, au contraire, sera, comme pour les alternateurs polyphasés, rapportée à des ampères-tours maxima.

Comme précédemment la courbe de court-circuit devra être une droite, et tout ce qui a été dit subsiste, sauf que la dispersion sera ici plus importante, étant donné que les ampères-tours maxima qui la représentent agissent en-

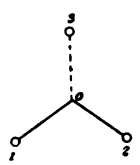


Fig. 6.

tièrement avec toutes leurs valeurs, tandis qu'il n'y a à considérer que $\frac{2}{\pi}$ des ampères-tours induits.

....

Digitized by Google

Pour comparer les alternateurs polyphasés et monophasés, l'auteur prend un alternateur triphasé qu'il étudie en mettant successivement en

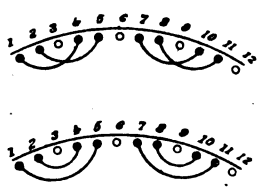


Fig. 7 et 8.

court-circuit : 1° 2 phases, voyez figure 6 ; 2° 1 phase, figure 9.

Dans le premier cas, on obtient un alternateur monophasé, dont l'enroulement représenté par la figure 7, équivalant d'ailleurs à celui de la figure 8, couvre les deux tiers de la périphérie.

Les ampères-tours de l'induit seront alors

$$\frac{m_1}{2} J_2 \sqrt{2}\sqrt{3},$$

et leur valeur moyenne

$$F_2 = \frac{m_2}{2} J_2 \sqrt{2}.\sqrt{3}. \frac{2}{\pi} = 1.56 \frac{m}{2} J_2$$

Dans le second cas (une seule phase), cette valeur devient

$$F_2 = \frac{m}{2} . J_2 . \sqrt{2}. \frac{2}{\pi} = 0,9 \frac{m_2}{2} J_2.$$

Si l'on rapproche de ces deux valeurs le F_2 correspondant à l'alternateur avec les trois phases en court-circuit, on voit que, en faisant abstraction de la dispersion, les réactions d'induit seront proportionnelles aux nombres suivants :

Trois phases en court-circuit	2,12
Deux	1,56
Une	0,9

Avant de passer aux résultats d'essais, l'auteur donne la méthode de prédétermination de la caractéristique en charge.

Cette méthode repose sur les hypothèses suivantes :

1° La dispersion est peu importante, c'est-à-dire F'_2 faible par rapport à F_2 et par suite Φ_2 voisin de Φ, et l'on admet que dans ces limites les champs sont proportionnels aux ampères-tours qui leur donnent naissance ;

2° Les inducteurs sont assez peu saturés pour que l'on puisse négliger les variations de la dispersion primaire avec la charge.

Dans ces conditions si l'on désigne par F_i les ampères-tours inducteurs nécessaires pour fournir le voltage voulu à vide, par F_a les ampères-tours induits, y compris les ampère-tours équivalents à la dispersion, c'est-à-dire par suite les ampères-tours inducteurs nécessaires pour produire le courant voulu en court-circuit, on obtiendra les ampères-tours inducteurs F_1 nécessaires à la marche en charge sous un cos φ donné et le cou-

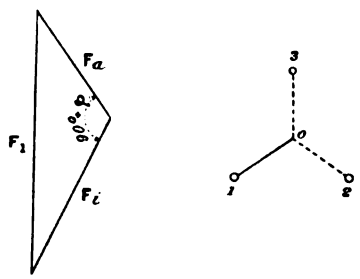


Fig. 9 et 10.

rant correspondant, en formant le triangle de la figure 10 ; ou ce qui revient au même F_1, en résolvant l'équation

$$F_1^2 = F_i^2 + F_a^2 + 2 F_i F_a \sin \varphi ;$$

par rapport aux courants d'excitation cette équation devient

$$J_1^2 = J_i^2 + J_a^2 + 2 J_i J_a \sin \varphi$$

en désignant par J_1, J_i et J_a les courants d'excitation relatifs à la marche en charge, à vide et en court-circuit aux conditions correspondantes.

En plus des deux conditions signalées par l'auteur, la méthode de Behn-Eschenburg suppose encore que la réluctance du circuit magnétique parcouru par le flux résultant, est indépendante de la position relative de l'induit et des conducteurs.

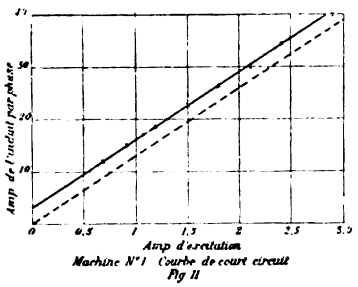
Résultats expérimentaux. — L'auteur donne ici le résultat d'essais faits par lui dans le courant de l'année sur 5 machines, numérotées de 1 à 5 par ordre d'ancienneté de construction, la machine n° 1 étant la plus ancienne.

Machine n° 1. — Alternateur triphasé, 5 kilowatts, 120 volts, 24 ampères ; 4 pôles ; induit tournant, avec l'enroulement ordinaire d'une dynamo à courant continu ; les noyaux polaires

Digitized by Google

sont en fonte et ne portent pas de pièces polaires. Arc polaire = 2/3 du pas. Machine construite en 1892. L'induit porte 48 dents fraisées, l'enroulement en triangle comporte 5 fils par dent : $m_2 = 80$.

656 spires par pôle ; 2 groupes de deux pôles en parallèle.



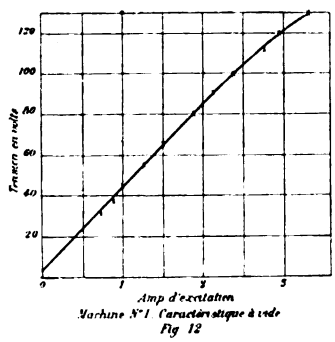


Fig. 11 et 12.

La figure 11 donne par courbe de court-circuit corrigée, la droite

$$J_1 = 0{,}077\ J_2$$

Les ampères-tours rapportés à un circuit magnétique double, sont respectivement

$$F_2 = 2{,}12. \times 20 \times J_2 = 42{,}4\ J_2 \text{ pour l'induit.}$$

(J_2 étant le courant dans l'induit par fil, ici c'est $\frac{1}{\sqrt{3}}$ du courant dans la ligne extérieure à cause de l'enroulement en triangle), et pour l'inducteur

$$F_1 = 0{,}077 \times 656\ J_2$$

d'où le rapport

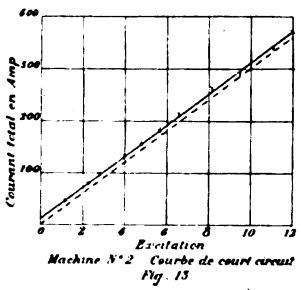
$$\frac{F_2}{F_1} = 0{,}84$$

L'écart entre 0,84 et 1, représente l'influence de la dispersion et de l'écart possible entre les ampères-tours calculés et les ampères-tours réellement actifs de l'induit.

La figure 12 représente la caractéristique à vide et montre que la machine n'est pas saturée ; d'autre part le nombre assez élevé des trous par pôle permet de croire que la courbe de la tension est assez voisine d'une sinusoïde, et la dispersion doit être faible car les dents sont complètement ouvertes.

L'auteur a poussé les essais en charge avec $\cos\varphi = 1$ jusqu'à des valeurs assez élevées et a observé une parfaite coïncidence entre les valeurs de l'excitation observées et les valeurs déduites de la loi donnée plus haut.

Machine n° 2. — Alternateur triphasé, 80 kilowatts sous $\cos\varphi = 0{,}75$, autrement dit 107 kilovolts-ampères, 220 volts, 280 ampères par phase, 500 tours : m, 12 pôles, 50 périodes. Induit



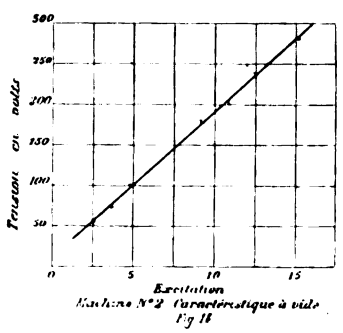


Fig. 13 et 14.

fixe à 18 grandes encoches demi-ouvertes, et autant de bobines enroulées sur gabarit, non chevauchantes, et contenant chacune alternativement 6 et 7 spires ; donc $m_2 = 78$. Les pôles de l'inducteur tournant portent chacun une bobine et une pièce polaire feuilletée. Arc polaire = 2/3 du pas.

178 spires par pôle. Enroulement induit en triangle composé de lames de cuivre. Par suite :

$$F_2 = \frac{78}{12} \cdot 2{,}12\ \frac{J'_2}{1{,}732}$$ (J'_2 étant ici le courant total d'une phase) $= 7{,}95\ J'_2$

Digitized by Google

D'après la figure 13, la courbe de court-circuit est

$$J_1 = \frac{1}{30} J'_2,$$

d'où

$$F_1 = \frac{1}{30} \times 356\, J'_2 = 11{,}8\, J'_2$$

et

$$\frac{F_2}{F_1} = 0{,}67$$

Cette machine datant de 1895, n'est pas saturée non plus, comme le montre la caractéristique à vide représentée figure 14.

L'auteur donne ici une table montrant l'application de la loi indiquée plus haut.

TABLEAU I

Courant dans l'induit.	cos φ	J	J_k	J_1 calculé.	J_1 observé.	$\frac{J_1 \text{ calculé}}{J_1 \text{ observé}}$
280	0,81	11,75	9,4	18,9	19,2	0,985
235	0,84	11,75	7,85	17,3	17,85	0,97
225	0,785	11,75	7,5	17,4	17,75	0,98
188	0,88	12,55	6,33	16,5	17,15	0,965
144	0,88	12,1	4,8	14,95	15,93	0,94
124	0,88	11,8	4,2	14,25	15,25	0,933

Machine n° 3. — Alternateur triphasé, 47 kilovolts-ampères, 600 tours : m, 10 pôles, 220 volts, 124 ampères, 50 périodes.

Machine assez moderne (fin 1896) ; induit fixe à dents, comportant deux encoches à demi fermées par pôle et par phase, contenant alternativement 3 et 4 spires. $m_2 = 70$. Enroulement étalé ordinaire à bobines chevauchantes

$$F_2 = \frac{70}{10} J_2 . 2{,}12 = 14{,}8\, J_2$$

Inducteur tournant à pôles en acier portant chacun une bobine et une pièce polaire massive. Arc polaire = 2/3 du pas. 235 spires par pôle.

α) 3 phases en court-circuit. — Si on se reporte à la figure 15, on voit que la courbe de court-circuit dans ces conditions est

$$J_1 = 0{,}047\, J_2,$$

d'où

$$F_1 = 0{,}047 \times 470 \times J_2 = 22{,}2\, J_2$$

et le rapport

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{14{,}8}{22{,}2} = 0{,}67.$$

β) 2 phases en court-circuit. — Le courant d'excitation nécessaire dans ce cas est (J_1 correspondant au cos α).

$$J'_1 = \frac{1{,}56}{2{,}12} J_1,$$

soit pour 100 ampères dans l'induit, $J_1 = 4{,}7$,

$$J'_1 = 0{,}735 \times 4{,}7 = 3{,}45 \text{ A}$$

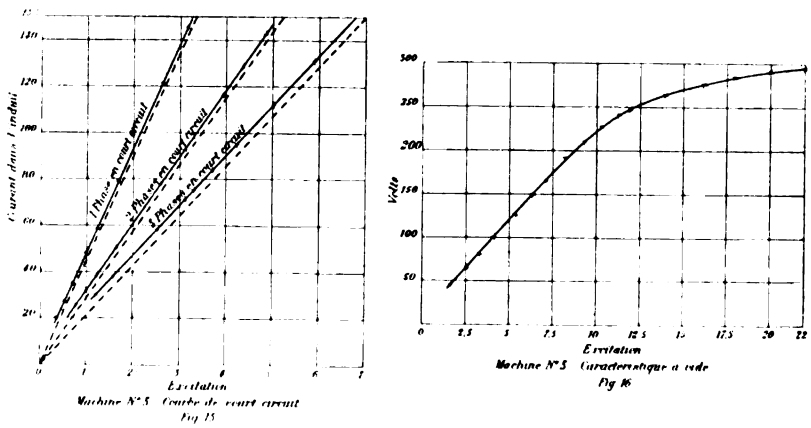


Fig. 15 et 16

Or la courbe de la figure 15, donne 3,5 ampères, coïncidence remarquable.

γ) 1 phase en court-circuit. — Théoriquement

$$J_1 = \frac{0{,}9}{2{,}12} J_1 = 0{,}425 J_1 :$$

soit pour

$$J_2 = 100 \text{ A}, \qquad J_1 = 4{,}7 \times 0{,}425 = 2 \text{ A}.$$

tandis que la courbe de la figure 15 donne 2,2 ampères, ou 10 p. 100 d'écart.

Digitized by Google

Cet écart s'explique ou par la modification de la courbe de courant, ou mieux par l'augmentation de la dispersion due à ce que le nombre des encoches portant des enroulements actifs diminue considérablement.

La caractéristique à vide de cette machine représentée figure 16 montre qu'elle est beaucoup plus saturée que les précédentes : la courbe s'infléchit rapidement après le point de tension normale.

L'auteur donne ici deux tables (II et III) résumant les observations faites sur cette machine chargée successivement en triphasé, et en monophasé sur deux phases seulement, et comparant les observations aux calculs faits par la méthode qu'il a indiquée plus haut (fig. 17).

TABLEAU II

COURANT dans l'induit.	cos φ	TENSION aux bornes.	CHUTE de tension.	F.E.M.	NOMBRE de tours.	J_f	J_a	J_1 CALCULÉ	J_1 OBSERVÉ	$\frac{J_1 \text{ calculé}}{J_1 \text{ observé}}$
200	0,61 (en avance)	220	7	224,	620	9,75	9,4 *	6,2	5,4	1,15
165,5	0,648 (en avance)	»	5,8	223,75	»	9,7	7,75 *	6,4	5,62	1,135
130	0,455 (en avance)	»	4,7	223,1	»	9,65	6,1	5,05	4,8	1,05
61,5	0,965 (en avance)	»	2,17	222,17	»	9,65	2,9	9,3	9,15	1,015
121	1,0	»	4,25	224,25	»	9,75	5,7	11,25	11,30	0,995
199	0,578 (en retard)	»	7	224,1	»	9,75	9,35 *	18,2	18,75	0,971
134	0,452 (en retard)	»	4,7	222	»	9,65	6,3	15,5	15,4	1,0065

Dans ces deux tables, les nombres intitulés chute de tension sont les valeurs du produit $1{,}732\ J_2\ R_2$ ($R_2 = 0{,}0203$ ohm par phase) ; les

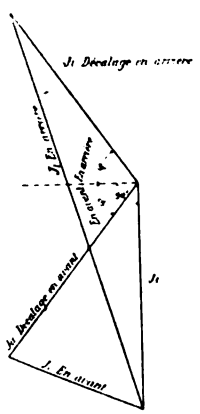


Fig. 17.

forces électromotrices, calculées dans la colonne F. E. M. sont déduites de la tension aux bornes en ajoutant à celles-ci le produit $1{,}732\ J_2\ R_2 \cos\varphi$ (méthode que l'auteur considère comme suffisamment précise, étant donné le peu d'importance de ces chutes de tension ohmiques) ; elles sont relatives à 620 tours pour la table II et à 600 tours pour la table III, et doivent dans le premier cas être ramenées à 600 tours, valeur à laquelle a été faite la caractéristique à vide de la figure 16.

Les valeurs de J_a marquées d'un astérisque ont été déduites par extrapolation en prolongeant la droite de court-circuit, les essais de court-circuit n'ayant été passés que jusqu'à 150 ampères.

Dans la table II, les écarts entre le calcul et l'observation sont surtout importants pour le cas du décalage en avant, et correspondent d'ailleurs à des surcharges assez élevées (courant normal 124 ampères).

L'auteur fait remarquer que le rapport $\frac{J_a}{J_1}$ atteint la valeur 1 pour 200 ampères ; il est de 0,6 pour le courant normal, tandis que dans les bonnes machines modernes, il oscille entre 0,25 et 0,4 et atteint rarement 0,5.

La table III se rapporte aux mêmes essais faits sur deux phases seulement (voyez fig. 6), et poussés jusqu'à une surcharge de 50 p. 100.

Machine n° 4. — 80 kilovolts-ampères, 220 volts, 214 ampères, 14 pôles, 428 tours à 50 périodes. Construction analogue à la précédente.

Elle n'est citée ici qu'à cause des essais en court-circuit sur trois, deux et une phases, représentés figure 18, par des droites qui ici passent exactement par l'origine.

Les courants d'excitation correspondant à un même courant dans l'induit sont pour les trois modes de connexion 2,12, 1,50, 0,975, alors

Digitized by Google

que la théorie faite plus haut indique 2,12, 1,56, 0,9.

Il y a donc ici une concordance absolue pour les deux premières valeurs, et un écart pour la troisième, comme dans le cas de la machine précédente.

TABLEAU III

COURANT dans l'induit.	COS φ	TENSION aux bornes.	CHUTE de tension.	F.E.M.	NOMBRE de tours.	F.E.M. réduite à 600 T	J_f	J_a	J_1 CALCULÉ	J_1 OBSERVÉ	J_1 calculé / J_1 observé
180	0,975	220	7,3	227,3	610	223,5	10,2	6,3	13,05	13,05	1,0
152	»	»	6,15	226,15	595	228	10,5	5,31	12,7	12,7	1,0
128	»	»	5,2	225,2	605	223,3	10,2	4,48	11,95	10,93	1,0
104	»	»	4,22	224,2	610	220,8	10,05	3,63	11,3	11,0	1,027
76	»	»	3,08	223,1	610	220	10,0	2,65	10,8	10,6	1,02
50	»	»	2,03	222	620	215	9,7	1,75	10,15	10,1	1,005
103	0,1	»	4,17	220,5	610	217	9,8	3,60	13,4	15,2	0,88
220	0,74	»	8,95	226,6	560	243	11,65	7,7	17,75	18,0	0,985

Machine n° 5. — Puissance apparente 125 kilovolts-ampères, 535 volts, 135 ampères, 12 pôles, 500 tours : m ; 2 encoches demi-ouvertes par pôle et par phase ; enroulement ordinaire triphasé à bobines fabriquées sur un gabarit et placées ensuite dans les encoches, en chevauchant les unes sur les autres. Pièces polaires

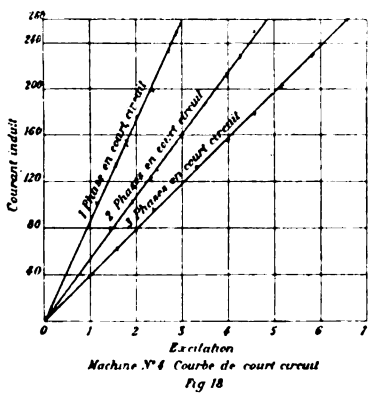


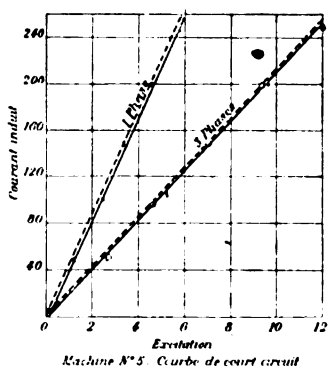
Fig. 18.

massives, embrassant 2/3 du pas ; chaque pôle portant une bobine.

La machine a été construite en 1898.

La courbe de court-circuit est représentée figure 19, et la caractéristique à vide figure 20. Le rapport des courants d'excitation en court-circuit dans la marche en triphasé et monophasé avec une seule phase est 2,12 à 1,02, au lieu de 2,12 à 0,9 : l'écart est donc sensiblement le même que précédemment.

Sur cette machine, l'auteur a vérifié la loi relative à la non-variation de la courbe de court-circuit avec la vitesse.



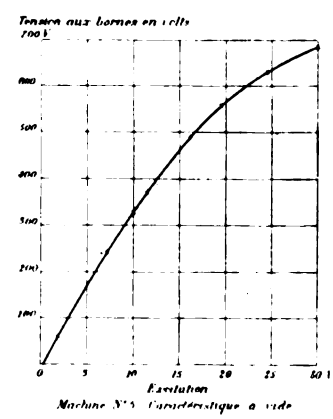


Fig. 19 et 20.

Dans la figure 19, les points représentés par des croix **X**, correspondent à la vitesse de 250 tours et les points figurés par des cercles ⊙

Digitized by Google

à 615 tours : m. La machine ayant été abandonnée à elle-même à 500 tours, excitée avec 4,63 ampères, le courant dans l'induit s'est maintenu jusqu'au dernier instant avant l'arrêt entre 93 et 95 ampères, ce qui coïncide avec la droite de la figure 19.

TABLEAU IV

COURANT dans l'induit.	TENSION aux bornes.	CHUTE de tension.	F.E.M	NOMBRE de tours.	F.E.M. réduite à 500 tours.	J_i	J_a	J_1 calculé.	J_1 observé.	$\frac{J_1 \text{ calculé}}{J_1 \text{ observé}}$
135	516	8,1	524	464	564	19,6	6,25	20,6	21	0,98
130	518	7,8	526	460	572	20,2	6,05	21,1	21	1,005

La table IV représente la comparaison entre le calcul et l'observation pour deux valeurs seulement de la charge en triphasé sur résistances liquides, le cos φ étant dans ce cas très voisin de 1 (force électromotrice de polarisation 4 volts par phase), et la charge égale sur les 3 phases.

A. MAUDUIT.

Sur la chute de tension dans les alternateurs, par **B.-V. Behrend**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 837. 30 novembre 1899.

Parmi les nombreuses questions qui doivent préoccuper le constructeur de machines électriques, une des plus importantes est la prédétermination de la tension en charge des alternateurs.

M. le Dr Behn-Eschenburg donna le premier une théorie qui fut adoptée avec plus ou moins de changement par les praticiens. Cette méthode ne consiste pas, comme on l'a prétendu de divers côtés, dans le diagramme des forces électromotrices d'une machine à courant alternatif, mais dans l'utilisation de la courbe de court-circuit pour la détermination de la self-induction de l'induit. Le diagramme des forces électromotrices avait déjà été donné par Gisbert Kapp dans son ouvrage *Dynamos, Alternateurs et Transformateurs*, Londres, 1893.

A cette époque, MM. Behn-Eschenburg et Gisbert Kapp n'avaient pas à leur disposition des machines où ils puissent faire un essai d'ensemble et une étude approfondie. Le type de Lauffen, avec son immense champ de dispersion, était alors à l'ordre du jour, ainsi que d'autres types, mauvais également sous ce rapport à cause du trop grand rapprochement des pôles ; c'est en général ce point, qui est trop peu observé. Naturellement tous les constructeurs savaient, que la répartition des pôles jouait un certain rôle, mais ils n'ont jamais pensé que la distance des pôles entre eux, était en réalité la clef pour la construction de bonnes machines à courant alternatif.

Après l'abandon par bien des constructeurs du type de Lauffen, on considéra la dynamo à fer tournant comme idéale. On ne peut en tout cas pas nier que les constructeurs du type de Lauffen trouvèrent un grand avantage à la bobine d'excitation fixe des machines à fer tournant, car la bobine d'excitation mobile du type de Lauffen leur avait donné de grandes difficultés.

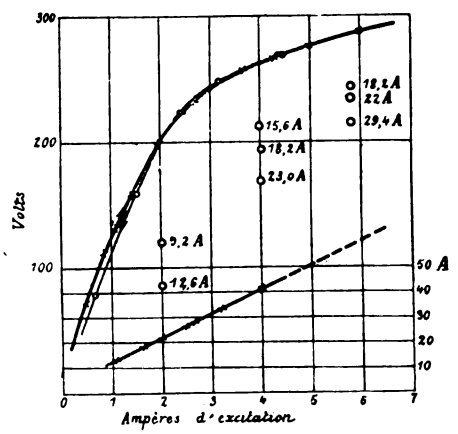


Fig. 1.

Le grand nombre d'essais faits par l'auteur se limite à quelques exceptions près à des machines à fer tournant ou du type de Lauffen.

La figure 1 représente la caractéristique et la courbe en court-circuit d'un petit générateur triphasé, avec champ magnétique mobile et pôles alternés. La dispersion magnétique était très

Digitized by Google

faible, environ 5 p. 100 pour 6 ampères d'excitation.

Ce diagramme a été choisi par l'auteur parce qu'il représente un cas extrême ; l'entrefer sera en général beaucoup plus grand que dans cette machine (environ 1 mm). La plus grande chute de tension a lieu lorsqu'elle débite sur des moteurs asynchrones à vide ; une telle charge est tout à fait apte à la vérification de la théorie.

Les tensions observées pour des excitations et des charges différentes, sont données dans le tableau ci-dessous :

COURANT A VIDE amp.	TENSION AUX BORNES volts.	COURANT A VIDE amp.	TENSION AUX BORNES volts.	COURANT A VIDE amp.	TENSION AUX BORNES volts.
5,8 amp. d'excit.		4 amp. d'excit.		2 amp. d'excit.	
29,4	216	23,0	170	12,6	85,5
22	235	18,2	195	9,2	120
18,2	244	15,6	213		

Première méthode. — Pour une excitation de 5,8 ampères nous obtenons sur la courbe du court-circuit un courant de 58 ampères. La force électromotrice est de 285 volts. La chute de tension, calculée d'après le courant de court-circuit, donne les résultats suivants :

CHARGE EN AMP.	CHUTE DE TENSION EN VOLTS calculée.	observ.	TENSION AUX BORNES calculée.	observ.
29,4	$\frac{29,4}{58} \times 285 = 144,5$	69	140,5	216
22	$\frac{22}{58} \times 285 = 108$	50	177	235
18,2	$\frac{18,2}{58} \times 285 = 90$	41	195	244

On voit que l'erreur est énorme.

Pour des excitations de 4 ampères et 2 ampères la même méthode donne :

TENSION AUX BORNES (4 ampères d'excitation.)

calculée.	observée.
$262\left(1 - \frac{23}{41}\right) = 116$	170 V
$262\left(1 - \frac{18,2}{41}\right) = 146$	195 V
$262\left(1 - \frac{15,6}{41}\right) = 162$	273 V

TENSION AUX BORNES (2 ampères d'excitation.)

calculée.	observée.
$200\left(1 - \frac{12,6}{22}\right) = 85$	85,5 V
$200\left(1 - \frac{9,2}{22}\right) = 116$	120 V

Dans le cas d'une excitation de 2 ampères, et dans ce cas seul nous trouvons une bonne concordance entre la méthode et l'expérience.

Mais on peut faire le calcul par une autre méthode :

Pour un courant de court-circuit de 29,4 ampères le courant d'excitation est de 2,85 ampères, La charge de 29,4 ampères était prise avec une excitation de 5,8 ampères, l'excitation résultante est 5,8 — 2,85 = 2,95 ampères. A cette excitation correspond une tension de 242 volts.

D'après ce procédé on peut dresser le tableau ci-dessous :

EXCITATION en amp.	CHARGE en volts.	TENSION EN VOLTS calculée. Méth. I	calculée. Méth. II	observée.
5,8	29,5	140,5	242	216
	22	177	259	235
	18,2	195	263	244
4	23	116	186	170
	18,2	146	215	195
	15,6	162	231	213
2	12,6	85	100	85,5
	9,2	116	130	120

Les erreurs dans les méthodes 1 et 2 sont résumées dans le tableau suivant :

MÉTHODE I	MÉTHODE II
5,8 A. d'excitation.	
— 35 p. 100	+ 12 p. 100
— 24,7 »	+ 10,2 »
— 20 »	+ 7,8 »
MÉTHODE I	MÉTHODE II
4 A. d'excitation.	
— 31,8 p. 100	+ 9,4 p. 100
— 25,1 »	+ 10,25 »
— 24 »	+ 8,45 »

Que nous apprennent ces résultats ? Nous voyons immédiatement que les deux méthodes donnent des résultats erronés.

Digitized by Google

La première méthode (d'après Behn-Eschenburg), donne en moyenne une tension inférieure de 25 p. 100 à celle observée. Nous pourrons l'appeler méthode pessimiste puisqu'elle fournit des résultats plus mauvais que dans la réalité.

La deuxième méthode, quoique comportant une erreur de 10 p. 100, donne une tension supérieure à la tension réelle, nous pourrions donc l'appeler méthode optimiste.

M. le professeur Arnold a proposé, il y a environ deux ans, de confondre les deux méthodes et de prendre la moyenne des résultats. Dans notre cas spécial le résultat obtenu serait acceptable, mais on peut citer un grand nombre de cas où la méthode d'Arnold est tout à fait inapplicable.

La question de la chute de tension peut évidemment être résolue mathématiquement, mais son application aux calculs des machines dépend tellement des coefficients et de résistances magnétiques qu'il est tout à fait logique d'employer une méthode plus empirique.

Nous avons vu que les deux méthodes donnent des résultats inexacts ; le constructeur qui se base sur la première méthode construit une machine trop grande, le constructeur qui détermine sa chute de tension d'après la seconde méthode, ne peut pas remplir sa garantie.

M. Behrend donne un exemple, où la seconde méthode fournit des résultats complètement inapplicables.

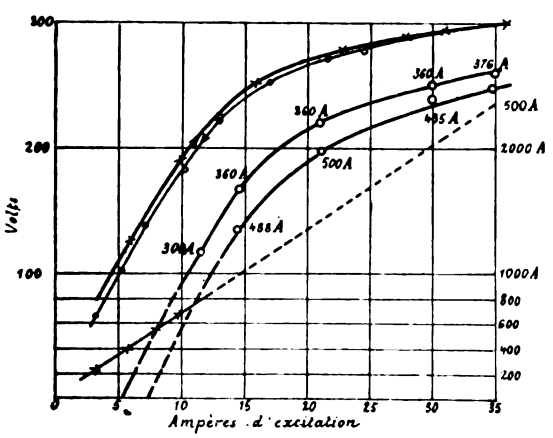


Fig. 2.

La caractéristique et la courbe de court-circuit représentées (fig. 2) appartiennent à un générateur triphasé, type à fer tournant, qui satisfait à toutes les conditions d'une bonne machine. La distance de deux pôles est de 325 mm, l'enroulement de l'armature est distribué à raison de deux encoches par pôle et par phase. L'entrefer n'était pas tout à fait de 3 mm.

La machine débitait du courant à vide; les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

EXCITATION en amp.	CHARGE en amp.	TENSION AUX BORNES volts.
35	375	260
30	360	250
21	360	220
14,6	360	168
11,5	360	117
34,8	500	248
30	435	240
21,2	500	199
14,4	488	135

Appliquons les deux méthodes à cette série d'essais.

PREMIÈRE MÉTHODE. — Nous obtenons sur la courbe de court-circuit un courant de 2360 ampères pour 35 ampères d'excitation ; sur la caractéristique une force électromotrice de 300 volts. La chute de tension, pour un courant à vide de 375 ampères est :

$$\frac{375}{2360} \times 300 = 47.7 \text{ V}$$

par suite, la tension aux bornes est 300 — 47,7 = 252,3 volts, au lieu de 260 observés.

Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau ci-dessous :

TENSION AUX BORNES	
calculée.	observée.
252,3	260
240,3	250
202	220
153	168
114	117
235	248
229,5	240
177,5	199
123	135

DEUXIÈME MÉTHODE. — Pour 375 ampères nous trouvons sur la courbe en court-circuit un courant d'excitation de 5,2 ampères. L'excitation résultante est 35 — 5,2 = 29,8 ampères et à cette excitation correspond une force électro-

Digitized by Google

motrice de 292 volts. Telle doit être la tension aux bornes.

Les résultats de cette méthode sont les suivants :

TENSION AUX BORNES	
calculée.	observée.
292	260
282	250
249	220
179	168
131	117
287	248
278	240
233	199
147	135

La représentation des erreurs en pour cent nous donnera une connaissance plus approfondie de la valeur des deux méthodes.

ERREURS EN P. 100	
Méthode I.	Méthode II.
— 4,95	+ 12,3
— 3,93	+ 11,8
— 8,2	+ 13,2
— 8,9	+ 6,5
— 2,56	+ 8,35
— 5,25	+ 15,7
— 4,40	+ 15,8
— 5,80	+ 17,1
— 8,90	+ 8,90

Les résultats obtenus dans ce tableau sont tout à fait opposés à ceux correspondant à l'exemple précédent.

Pour montrer plus nettement l'absolue inutilité de la deuxième méthode pour le constructeur M. Behrend se place dans le cas suivant : Supposons qu'un constructeur ait projeté une machine de 250 volts et 500 ampères; qu'il ait trouvé que pour une tension de 250 volts à circuit ouvert il fallait un courant d'excitation de 16 ampères. La réaction d'induit, calculée par la deuxième méthode, lui montre qu'en charge le courant d'excitation est de 23,3 ampères. Il calcule par suite la bobine excitatrice pour cette intensité ainsi que la section de fer pour une tension de 250 volts.

Il voit alors avec étonnement qu'au lieu de 23,3 ampères d'excitation, 35 ampères sont nécessaires; mais ceci est de trop pour la bobine excitatrice et la machine ne pourra pas donner sa tension.

On vient de voir que dans ce dernier cas la seconde méthode donne des résultats tout à fait inapplicables tandis que la première méthode donne pratiquement des résultats assez exacts.

Ceci s'est confirmé dans toutes les machines à fer tournant ou du type de Lauffen essayées par l'auteur.

Pour toutes les machines construites avec soin, la tension observée était toujours bien au-dessus de celle calculée.

Le type à pôles alternés est sans contredit le meilleur.

Par une construction soignée on peut réduire énormément la dispersion magnétique; les chutes de tension sont également plus faibles que celles calculées lorsqu'on sature le circuit magnétique.

L'auteur se propose, dans un prochain article d'étudier la question de la répartition des pôles et de l'influence de l'entrefer.

Quoi qu'on dise de la nature de l'article ci-dessus, il est clair qu'il est important pour l'ingénieur de savoir dans quelle mesure il peut se fier à une méthode donnée.

L'auteur fait remarquer qu'il est relativement peu important pour un constructeur ne perdant pas de vue l'influence considérable de la réduction de la dispersion du champ magnétique, de déterminer exactement la chute de tension, car sa machine doit être calculée de façon à fournir sa tension même lorsque la vitesse baisse de 10 p. 100. On satisfera à cette condition si la machine peut donner de trois à cinq fois le courant de court-circuit pour l'excitation maximum.

Ceci peut être calculé avec une grande exactitude, le constructeur sera alors certain, que la chute de tension dans les cas extrêmes ne dépassera pas 20 à 30 p. 100 la tension à vide.

P. Diéxy.

Sur la chute de tension dans les alternateurs, par **Arnold**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 893, 21 décembre 1899.

Le professeur Arnold dans une lettre adressée à l'*Elektrotechnische Zeitschrift* présente quelques observations au sujet de l'article de M. Behrend.

En premier lieu M. Arnold indique qu'il a publié dans l'*Elektrotech. Zeits.* de 1896, p. 730, la prédétermination par le calcul de la caractéristique en court-circuit et son application à la

Digitized by Google

prédétermination de la chute de tension. Les méthodes indiquées par M. Behrend y sont appliquées, la première peut être appelée méthode de force électromotrice ; la seconde, méthode des ampère-tours.

Il n'a pas proposé, comme l'indique M. Behrend de prendre pour exacte la moyenne des résultats des deux méthodes, mais une valeur intermédiaire dépendant des coefficients de dispersion de la machine.

Par l'emploi de la méthode des ampère-tours, on obtient de bons résultats lorsque l'influence de la dispersion magnétique, qui croit avec la charge de la machine, est négligeable par rapport à l'augmentation des ampère-tours magnétisants ; ce qui n'a lieu que lorsque la dispersion est faible ou la saturation magnétique peu élevée. Aussitôt que l'on travaille avec des machines fortement saturées on ne peut plus négliger l'accroissement de la dispersion.

Dans les machines à fer tournant (homopolaires) on a toujours une grande saturation et une grande dispersion. L'induction dans ce type est proportionnelle à $\Phi_{max.} - \Phi_{min.}$, si $\Phi_{max.}$ et $\Phi_{min.}$ représentent les flux maximum et minimum d'un tour.

Les fuites magnétiques sont favorisées par les contre-ampère-tours de l'induit et $\Phi_{min.}$ sera par suite plus grand pour une machine en charge que pour une à vide.

Pour obtenir la même force électromotrice on doit augmenter le flux magnétique total, la saturation de l'inducteur et de l'induit croit, ce qui nécessite un grand nombre d'ampère-tours magnétisants.

La méthode des ampère-tours ne tient aucun compte de l'augmentation de la dispersion avec la charge, c'est pourquoi l'on trouve des tensions trop élevées pour les machines homopolaires, tandis que la méthode de force électromotrice donne d'assez bons résultats.

Pour les types à pôles alternés $\Phi_{min.} = 0$, un accroissement de la dispersion pour le même champ utile n'a pour résultat que l'augmentation de saturation de l'inducteur, aussi l'inconvénient de la dispersion est-il beaucoup plus faible. Pour les machines à dispersion faible la méthode des ampère-tours donne de bons résultats.

L'influence de l'accroissement de la dispersion se détermine facilement au moyen du diagramme, figure 1, où M. Arnold applique une supposition que M. L. Schüler, ingénieur à l'Elektricitäts A.-G. Vorm. Lahmeyer et C°, emploie dans ses calculs, à savoir que, pour un champ utile constant le champ de dispersion croît proportionnellement à l'augmentation du nombre des ampère-tours magnétisants. Pour les types à pôles alternés cette supposition est exacte, mais pour les types homopolaires la dispersion croît beaucoup plus rapidement que l'accroissement des ampère-tours magnétisants par suite de la réaction d'induit.

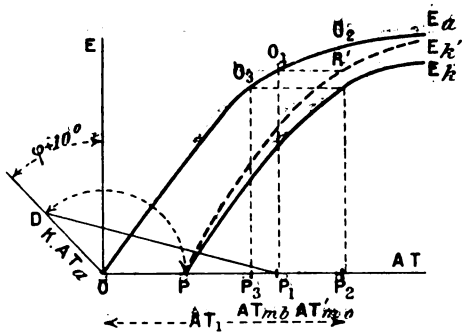


Fig. 1.

Dans la figure les ampère-tours du champ sont portés en abscisses et les forces électromotrices en ordonnées. O E$_0$ est la caractéristique à vide calculée d'après les dimensions de la machine. On porte en O E l'angle $\varphi - (90° - \alpha)$, où φ est le décalage de phase entre E_k et I en charge et α le décalage entre E_a et I_0, courant de court-circuit de la machine. α est pour des machines ayant peu de pertes par courants de Foucault égal à 80° environ.

Pour un retard de phase de I, l'angle $\varphi + 10°$ peut être porté à gauche de OE et pour une avance de phase l'angle $10° - \varphi$ à droite de OE. Sur la droite OD on prendra $OD = k.AT_a$, AT_a représente les ampère-tours de l'armature, et k un coefficient qui dépend de la dispersion, de la disposition des bobines de l'induit, du rapport de la répartition des pôles aux arcs polaires et de la forme des cannelures de l'induit.

Dans son travail de 1896, M. Arnold donne différentes valeurs expérimentales de ce coefficient. On peut considérer $k.AT_a$ comme les contre-ampère-tours de l'armature.

Si l'on trouve pour une excitation $AT_1 = OP_2$, une tension aux bornes correspondant à l'inten-

Digitized by Google

sité I_0, si on fait $DP_1 = OP_2$, OP_1 représente les ampère-tours résultants et la valeur correspondante de E_a est de suite $P_1 Q_1$. On calculera donc le flux Φ par pôle nécessaire pour obtenir la force électromotrice $P_1 Q_1$.

Si le coefficient de dispersion (pris ou calculé) dans la détermination de la caractéristique à vide est δ, c'est-à-dire où $\delta = \frac{\text{champ total}}{\text{champ utile}}$, on tiendra compte de l'augmentation de la dispersion en charge en utilisant dans les calculs le coefficient :

$$\delta' = 1 + (\delta - 1)\frac{\overline{OP_2}}{\overline{OP_1}}$$

Dans le cas d'une machine à pôles alternés, si AT_{mo} représente le nombre d'ampère-tours nécessaire pour vaincre la résistance magnétique et obtenir à vide une force électromotrice $P_1 Q_1$, et si AT_m représente ce même nombre calculé avec l'usage du coefficient δ',

$$AT_{m\delta} - AT_{mo}$$

donne la perte d'ampère-tours qui doit être retranché du nombre obtenu OP_1.

Le nombre d'ampère-tours résultant en tenant compte de l'augmentation de dispersion est maintenant OP_3 et P_3Q_3, la tension aux bornes correspondant à l'excitation OP_2, R est un point de la caractéristique en charge, RR' l'accroissement de chute de tension.

Pour une saturation faible de l'inducteur, $AT_{m\delta} - AT_{mo}$ est petit et peut être négligé. Pour une forte saturation et une forme de pièces polaires à forte dispersion R' est pourtant trop élevé.

Par cette amélioration de la méthode des ampère-tours on obtient de meilleurs résultats, sans arriver à une précision absolue; la prédétermination de la caractéristique à vide présente déjà des difficultés; de plus les coefficients k et δ ne peuvent se déterminer exactement.

Ces méthodes, malgré leurs causes d'erreur, peuvent pourtant rendre bien des services au constructeur dans le projet et l'étude d'une machine. P. D.

ÉLECTROCHIMIE

Recherches sur la préparation électrolytique des chlorates, bromates et iodates alcalins, par **Erich Müller**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. V, p. 469-473, 13 avril 1899.

La formation électrolytique des chlorates alcalins étant due, d'après les travaux récents de Foerster et Jorre (1), à l'oxydation de l'hypochlorite par l'acide hypochloreux libre, il était à prévoir que la présence de tout autre oxydant doit activer la formation du chlorate. C'est ce que les recherches de M. Müller ont pleinement confirmé.

Dans des essais préliminaires l'auteur prit quatre solutions d'hypochlorite de potassium d'un volume de 10 cm³ et à chacune d'elles il ajouta respectivement un volume égal d'eau pure ou de solutions normales d'acide acétique, d'acide sulfurique et d'acide normal. Pour chacune d'elles il détermina, par la méthode de Penot, l'oxygène à l'état d'hypochlorite et, par la méthode iodométrique, l'oxygène total; par différence il obtenait l'oxygène à l'état de chlorate. Pour les solutions chromiques on retranchait aussi l'oxygène correspondant à l'acide chromique, cet oxygène agissant dans la méthode iodométrique. Ces essais montrèrent que l'oxygène à l'état d'hypochlorite, qui était au début de 1,45 gr par 100 cm³ de solution, n'était plus : au bout d'une heure que de 0,55 gr dans la solution acétique, 0,56 gr dans la solution sulfurique, 0,32 gr dans la solution chromique; au bout de quatre heures 0,41 gr, 0,49 gr et 0,16 gr; au bout de dix-sept heures 0,30 gr, 0,29 gr, 0,10 gr. La quantité d'oxygène à l'état d'hypochlorite dans la solution aqueuse qui servait de témoin était encore de 1,44 gr par 100 cm³ au bout de dix-sept heures. Les dosages de l'oxygène total donnèrent respectivement 1,52 gr, 1,48 gr, 1,46 et 1,49 gr pour les quatre solutions.

L'influence de l'acide chromique étant ainsi mise en évidence, des essais électrolytiques furent faits sur des solutions de chlorures, bromures et iodures alcalins.

Essais sur les chlorures. — Parmi ces essais, l'auteur en cite deux, faits, l'un sur une solution de chlorure de sodium contenant 30 p. 100 de sel, l'autre sur une solution de même concentration, additionnée de 0,18 p. 100 de chromate de potassium. Les électrolytes étaient contenus dans un récipient de verre d'une capacité de 550 cm³ où se trouvaient une cathode en platine d'environ 20 cm² de surface et deux anodes un peu plus petites, en platine également, placées

(1) *Journ. f. prakt Chemie*, 1899, p. 53.

Digitized by Google

de chaque côté de la cathode. Ce récipient était fermé par un bouchon muni d'un tube pour le dégagement des gaz. Un voltamètre à gaz tonnant, un ampèremètre, un voltmètre et un voltamètre à cuivre étaient intercalés dans le circuit. L'intensité du courant était de 4,5 ampères, ce qui correspondait à une densité de 18 amp : dm² sur la cathode et 7,5 amp : dm² sur les anodes. La tension varia de 3,9 à 4 volts dans l'électrolyse de la solution de chlorure de sodium pur (température comprise entre 45 et 50°C) et de 4,1 à 4,7 volts dans celle de la solution chromatée (température comprise entre 42 et 50°C). Les résultats de ces essais sont résumés dans le tableau suivant où le chiffre I se rapporte à la solution de sel pur et le chiffre II à la solution chromatée.

Dans l'essai I, il s'était précipité dans le voltamètre 112 gr de cuivre, correspondant à 28,2 gr d'oxygène: la solution contenait 9,28 gr d'oxygène actif, soit 32,8 p. 100 du rendement théorique. Dans l'essai II le poids du cuivre précipité était de 102,05 gr, correspondant à 25,75 gr d'oxygène ; la solution contenait 17,92 gr d'oxygène actif, soit 69,6 p. 100 du rendement théorique. On voit combien le rendement en chlorate est notablement augmenté par la présence du bichromate ; ce résultat est principalement dû à ce que la réduction du chlorate formé est considérablement diminuée.

Tableau I

TEMPS	RENDEMENT du courant		RÉDUCTION		DÉCOMPOSITION de l'eau	
	I	II	I	II	I	II
Heures.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
1	52,3	83,5	41,3	3,8	6,4	12,7
2	35,5	77,6	53,3	2,4	11,2	20,0
3	33,4	69,5	54,7	0,8	11,9	29,7
4	33,1	71,6	54,6	2,1	12,4	26,3
18	30,8	68,7	56,7	2,8	12,5	28,5
19	32,6	68,2	54,8	3,3	12,8	28,5
20	.. ....	67,9	.....	3,6	.....	28,5
21	32,8	.....	54,8	.....	12,4	.....

Dans un essai fait dans les mêmes conditions que l'essai II, durant 23 heures, mais en maintenant la température à 10°C, on obtint un rendement encore meilleur ; il se forma aussi une quantité sensible de perchlorate.

Essais sur les bromures. — D'autres essais furent faits sur des solutions de bromure de potassium additionnées de chromate. On opérait dans un récipient en verre de 120 cm³, bouché comme celui qui servait aux précédents essais ; deux lames de platine de 10 cm² de surface, distantes d'environ 1 cm, servaient d'électrodes ; l'intensité du courant était de 1 ampère. Avec une solution contenant 20 gr de KBr et 0,18 gr de K^2CrO^4, maintenue à une température de 32-36° et avec une tension de courant de 2,5 à 4,1 volts on obtint les résultats suivants :

Tableau II

TEMPS	RENDEMENT du courant	RÉDUCTION	DÉCOMPOSITION de l'eau
Heures.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
1/2	97,3	2,1	0,6
3	94,8	2,5	2,7
13	93,7	4,1	2,2
15	90,6	6,1	3,5
19	93,1	3,7	3,2
21	94,5	3,3	2,2
23	90,7	4,4	4,9
25	90,2	3,9	5,9
26	91,8	3,4	4,8
28	82,5	3,1	14,4
30	64,2	3,1	32,7

Dans le voltamètre placé en série, il s'était déposé 34,75 gr de cuivre, correspondant à 8,77 gr d'oxygène. Par cristallisation on obtint 19,85 gr de $KBrO^3$ contenant 5,706 d'oxygène ; la solution renfermait encore 2,1752 gr d'oxygène. On avait donc en tout 7,8812 d'oxygène soit 89,8 p. 100 du rendement théorique. Si l'on considère seulement les 21 premières heures de l'opération le rendement moyen atteint 94 p. 100 du rendement théorique. Théoriquement les 20 gr de KBr auraient dû être transformés en $KBrO^3$ au bout de 26,9 heures ; pratiquement il y avait au bout de ce temps 97,6 p 100 de KBr transformés en $KBrO^3$.

Essais sur les iodures. — Un des essais faits, dans les mêmes conditions expérimentales, sur une solution (100 cm³) contenant 20 gr de KI, 1 gr de KOH et 0,18 gr K^2CrO^4 a donné, avec une tension de courant s'élevant de 3,3 à 3,7 volts, et à la température moyenne de 40°C, les résultats indiqués dans le tableau III (p. 310).

Il s'était déposé dans le voltamètre 26,18 gr de cuivre, correspondant à 6,6 gr d'oxygène. On a obtenu par cristallisation 21,6 gr de KIO^3 cor-

Digitized by Google

respondant à 4,823 gr d'oxygène et la solution contenait encore 0,8258 d'oxygène, soit au total 5,6488 gr d'oxygène c'est-à-dire un rendement de 85,6 p. 100. Si l'on ne tient pas compte des dernières heures on arrive à 97 p. 100 du rendement théorique. Les 20 gr de KI auraient dû être totalement transformés en KIO^3 en 20 heures; pratiquement 97,7 p. 100 étaient transformés.

Taaleau III

TEMPS	RENDEMENT du courant	RÉDUCTION	DÉCOMPOSITION de l'eau
Heures.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
1	98,7	0,8	0,5
2	97,5	1,4	1,1
4	99,1	0,9	0,0
15	96,7	0,0	3,3
16	91,0	1,8	7,2
17	91,4	1,3	7,3
19	81,7	0,4	17,9
21	27,3	0,6	72,1
22	9,1	4,3	86,6

Des essais faits sur des solutions de 500 cm^3 contenant 20 p. 100 de leur poids de sels de sodium ont donné des résultats aussi satisfaisants.

Recherche des conditions les plus favorables. — La nature des électrodes a une influence sensible. Il convient d'employer des anodes en platine ; les anodes en charbon se désagrègent peu à peu et la solution se colore en brun ainsi que les cristaux qu'elle donne. En opérant avec diverses cathodes on a obtenu pour la réduction :

	RÉDUCTION P. 100.	
	Minimum.	Maximum.
Platine	0,2	2,9
Nickel	2,1	2,5
Fer	2,6	3,9
Cuivre	2,9	3,8
Plomb	5,6	15,5
Zinc	20,0	30,8

Ces résultats montrent que l'on peut employer les quatre premiers métaux mais qu'il faut rejeter le plomb et le zinc.

Une addition d'alcali aux solutions augmente la quantité d'eau décomposée pour les chlorures et les bromures ; elle n'a pas d'influence pour les solutions d'iodure. La concentration des solutions n'a pas d'influence ; on n'observe une diminution du rendement que lorsque la solution est très fortement appauvrie.

Une augmentation de la teneur en chromate produit une augmentation lente de la décomposition ; sa diminution augmente la réduction. Les sels où le chrome est à l'état d'oxyde jouent le même rôle que le chromate ; ils sont oxydés par le courant.

Une élévation de la température permet de diminuer la tension du courant. Avec les chlorures on obtient une proportion sensible de perchlorate lorsque la température est maintenue au-dessous de 25°. Avec les bromures et les iodures le rendement est aussi bon à froid qu'à chaud, car on ne peut oxyder par électrolyse ni les bromates, ni les iodates ; il convient cependant de ne pas dépasser 50° car à plus haute température on observe une plus forte réduction.

On peut faire varier dans de larges limites la densité du courant.

Rôle du chromate. — Il est difficile d'expliquer ce rôle. Toutefois M. Müller ayant constaté que la cathode prend un aspect mat, qui n'est pas celui du platine, et y ayant reconnu la présence du chrome, fait à ce propos les remarques suivantes :

« Il y a deux cas possibles : ou bien la cathode se recouvre d'une fine couche d'hydrate de chrome, agissant comme la chaux qui forme un diaphragme empêchant la réduction, dans l'électrolyse des solutions de chlorure de calcium [1]. Cela expliquerait que le voltage fût plus élevé pour les solutions contenant du chromate, quoiqu'on puisse expliquer ce fait par une variation de la polarisation de l'hydrogène. Mais le fait que l'hypochlorite oxyde rapidement l'hydrate de chrome en acide chromique est contraire à cette hypothèse ; il faudrait alors que l'hydrogène réduisît CrO^2 en Cr^2O^3 dans le même rapport où NaOCl oxyde Cr^2O^3 en CrO^3 et dans ce cas la valeur de la réduction ne donnerait aucune indication.

« Il se pourrait aussi qu'à la surface de la cathode, il se formât un alliage de chrome. C'est un fait d'expérience [2] que les chlorates alcalins subissent une réduction plus ou moins forte suivant qu'on emploie tel ou tel métal comme cathode, et l'on peut supposer que le chrome métallique qui formerait la cathode

[1] Bischoff et Forster. *Zeitsc. f. Elekt.*, t. IV, p. 464. 20 avril 1898.

[2] Forster. *Zeits. f. Elek.*, t. IV, p. 380. 20 févr. 1898.

Digitized by Google

empêcherait une forte réduction. Et, en effet, les métaux qui empêchent la réduction présentent à la fin de l'électrolyse une surface blanche et mate, tandis que le zinc et le plomb se recouvrent d'une masse poreuse facile à enlever. Ce phénomène s'éclaircirait peut-être si l'on admet que tous les métaux qui forment avec le chrome, dans l'électrolyse, un alliage poreux et peu compact, ne peuvent pas empêcher la réduction de s'effectuer. Mentionnons aussi que les sels de manganèse n'ont pas la même action. »

Bains d'électro-déposition Marino à la glycérine. Brevet anglais, n° 22 622, déposé le 27 octobre 1898, accepté le 27 octobre 1899.

Dans l'électrolyse des solutions aqueuses de sels métalliques, l'eau est souvent décomposée et l'hydrogène provenant de cette décomposition a une influence nuisible sur la qualité du dépôt électrolytique. Cet inconvénient est évité si, au lieu de solutions aqueuses, on emploie des solutions glycériques.

M. Quintin-Marino indique dans son brevet la manière de préparer ces solutions. Ces indications ayant déjà été données dans ce journal (1) lors de la publication du brevet allemand (n° 104 111) de l'inventeur, nous rappellerons seulement que cette préparation peut s'effectuer de trois façons : 1° par simple dissolution à froid pour un assez grand nombre de sels métalliques ; 2° par dissolution à chaud (60° à 80°) pour quelques sels comme le sulfate double de nickel et d'ammonium et le chlorure d'étain ; 3° enfin par dissolution dans un dissolvant approprié (alcalis, carbonate, chlorures et borates alcalins) que l'on additionne ensuite de glycérine lorsque le sel métallique est trop peu soluble aussi bien à chaud qu'à froid.

Procédé Steinhart, Vogel et Fry pour l'extraction électrolytique du zinc de son oxyde. Brevet anglais n° 19 876, déposé le 19 septembre 1898, accepté le 19 décembre 1899.

L'oxyde de zinc, qui est presque infusible est amené sous un état convenable pour l'électrolyse en le dissolvant dans du chlorure de zinc fondu ; un courant de bas voltage traversant ce bain décompose l'oxyde (qui peut-être a formé un chlorure basique ou un oxychlorure) en zinc qui se rend à la cathode et en oxygène qui se rend à l'anode.

L'appareil électrolyseur est un vase cylindrique garni intérieurement de matière réfractaire, et fermé par un couvercle auquel sont fixées des anodes en charbon ; au fond se trouve une couche de zinc fondu de 2 à 3 cm d'épaisseur qui sert de cathode ; un foyer extérieur maintient la température un peu au-dessus de celle de la fusion du zinc.

Pour mettre l'appareil en marche on recouvre le fond de zinc grenaillé et quand celui-ci est fondu, on met au-dessus du chlorure de zinc, préalablement déshydraté ou que l'on déshydrate par le passage du courant (1), de manière à former une couche de 5 à 6 cm d'épaisseur, superposée à la couche de zinc fondu et dans laquelle les anodes en charbon plongent de 2 à 3 cm. On ajoute alors peu à peu de l'oxyde de zinc en même temps qu'on fait traverser l'appareil par un courant d'une tension de trois volts environ.

Pendant le fonctionnement de l'appareil, le zinc provenant de l'électrolyse se rassemble au fond du récipient ; un trop-plein dont l'ouverture est à 2 ou 3 cm du fond permet de le recueillir. L'oxygène se rend sur les anodes, et si l'on prend soin de chauffer le récipient par le fond à la température juste suffisante pour maintenir le bain en fusion, cet oxygène se dégage sans se combiner au charbon des anodes qui restent à une température relativement peu élevée.

Les inventeurs font remarquer que si la chaleur nécessaire à la fusion du bain était fournie par le courant, les anodes se trouveraient alors portées à une température assez élevée pour qu'il y ait combinaison de l'oxygène et du charbon, et, par suite, destruction rapide des anodes. De plus il faudrait augmenter la tension et le chlorure de zinc se trouverait électrolysé avec dégagement de chlore sur les anodes, dégagement qui ne se produit pas, tant qu'il y a de l'oxyde de zinc dans le bain, quand on opère comme ils l'indiquent.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 522, 30 septembre 1899.

(1) Voir dans *L'Éclairage Électrique*, du 6 janvier p. 31, le procédé Lyte pour la déshydratation électrolytique du chlorure de zinc.

Digitized by Google

Electro-déposition du cuivre de solutions alcalines, par **Sherard Cowper-Coles.** *The Electrical Review*, t. XLIV, p. 255, 16 février 1900.

L'auteur décrit une installation récemment faite par la Société des Mines et Fonderies de zinc de la Vieille-Montagne, en Belgique, pour le cuivrage galvanique des feuilles de zinc.

Cette installation comprend un bac de dégraissage, un bac de lavage, un bac d'électrolyse, un appareil régénérateur du bain électrolytique et enfin une polisseuse rotative. Les feuilles de zinc passent d'abord dans le bac de dégraissage qui contient une solution chaude de carbonate de sodium renfermant 100 gr de ce sel par litre d'eau; elles sont ensuite lavées dans le second bac, puis recouvertes de cuivre, lavées de nouveau et séchées; enfin le dépôt électrolytique est poli par le passage des plaques entre les deux brosses tournantes de la polisseuse.

Le bac d'électrolyse est de forme rectangulaire. Suivant sa longueur sont disposées verticalement des plaques de cuivre servant d'anodes. Ces plaques sont suspendues, au moyen de petites tiges rivées, à d'épaisses barres horizontales dont les extrémités, recourbées à angle droit, pénètrent dans deux rigoles s'étendant d'un bout à l'autre des côtés latéraux du bac et contenant du mercure que l'on relie au pôle positif de la source de courant. Sur ces barres sont placées, à angle droit, des traverses en matière isolante qui soutiennent des tiges métalliques disposées entre les barres anodiques et parallèlement à celles-ci; les extrémités de ces tiges plongent dans du mercure contenu dans deux rigoles et relié au pôle négatif de la source. C'est à ces tiges horizontales que l'on suspend les feuilles de zinc à cuivrer. Cette disposition rend facile la mise en place et l'enlèvement des feuilles; en outre elle permet de placer un grand nombre de feuilles sans craindre de court-circuit entre les anodes et les cathodes.

Le bain électrolytique est une solution de cyanure de cuivre et de potassium renfermant, par litre d'eau, 200 gr de cyanure de cuivre, 100 gr de cyanure de potassium et 12 gr d'ammoniaque; sa température est maintenue à 65°,C. La densité du courant est de 1,1 ampère par dm^2 de surface cathodique; la tension entre les bornes d'amenée et de sortie du courant est de 1,6 volt. Une pompe centrifuge aspire le bain à la partie supérieure de la cuve, et le refoule dans un récipient cylindrique où la liqueur se filtre à travers une couche de cuivre très divisé; une partie du cuivre est dissous et la teneur du bain, dont la densité à 15° C est 1,12, demeure constante. De ce récipient, la liqueur est conduite au fond du bac d'électrolyse.

Quelques notes sur l'électro-galvanisation, par **Sherard Cowper-Coles.** *Industries and Iron*, t. XXVIII, p. 69, 2 février 1900.

Dans cet article, l'auteur commence par rappeler que l'électrodéposition du zinc a pris dans ces dernières années un assez grand développement et qu'elle est adoptée dans les ateliers de construction des chaudières Normand, Belleville, Thornycroft; il fournit ensuite sur le procédé employé quelques renseignements qui complètent ceux qui ont été déjà publiés dans cette revue sur le procédé de zingage électrique de Cowper-Coles (1).

La première condition pour obtenir un dépôt bien adhérent est un décapage très soigné des pièces. La solution la plus généralement employée est de l'acide sulfurique très étendu, à 1 p. 100 d'acide du commerce. L'Amirauté anglaise exige cependant l'emploi, pour le décapage des tubes et plaques des chaudières et des conduites de vapeur, d'une solution de 19 parties d'eau et de 1 partie d'acide chlorhydrique, où les pièces doivent rester plongées jusqu'à disparition complète des battitures d'oxyde. Après ce décapage les pièces sont brossées, lavées à grande eau, puis laissées dans des bacs où circule un courant d'eau.

Ce procédé de décapage est long et coûteux, car les écailles d'oxyde de fer ne se détachent que lentement et il y a une perte considérable d'acide. L'auteur a fait de nombreux essais pour l'améliorer; dans les uns il utilisait l'électrolyse (2), l'objet à décaper plongé dans le bain acide étant successivement relié au pôle positif et au pôle négatif d'une dynamo; dans d'autres il se servait d'électro-aimants plongés dans le bain dans le double but d'arracher les écailles des pièces (ce qui rend le décapage plus rapide)

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 513; t. VII, p. 191; t. VIII, p. 173; t. IX, p. 319; t. XIII, p. 575; t. XIV, p. 317, et particulièrement t. XVII, p. 411, 3 déc. 1898.

(2) Cowper-Coles. Décapage électrolytique des fers forgés. *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 317, 12 février 1898.

Digitized by Google

et d'enlever du bain les écailles dès qu'elles sont détachées (ce qui diminue la dépense d'acide).

D'après l'article que nous analysons, M. Cowper-Coles paraît s'être arrêté à ce dernier procédé. L'électro-aimant est enfermé dans une enveloppe étanche en cuivre rouge pour le mettre à l'abri de l'action du bain acide ; un courant de 10 ampères sous une tension de 6 volts suffit à son excitation. Cet électro-aimant est promené à la surface des pièces et sur le fond du bac de décapage ; de temps en temps on le retire du bain pour enlever les écailles adhérentes, ce qui s'effectue soit en coupant le circuit d'excitation, soit au moyen d'un frotteur ou d'un balai.

Un autre procédé de décapage souvent employé consiste à diriger sur la surface des objets un courant d'air sous pression entraînant du sable très fin. Le prix de revient moyen de ce procédé serait de 12 centimes par mètre carré ; toutefois ce prix varie dans d'assez grandes limites suivant la nature du sable utilisé. Avec le sable quartzeux de première qualité, la perte est d'environ 10 p. 100 à chaque passage du sable dans la machine soufflante ; avec le sable ordinaire des moules de fonderie, la perte est beaucoup plus faible.

Après le décapage les pièces sont placées dans un bac d'électro-déposition ; dans les usines employant le décapage à l'acide, le bac de décapage, celui de lavage et le bac d'électrolyse sont disposés les uns à côtés des autres. Le bain électrolytique renferme 252 gr de sulfate de zinc par litre. La solution rendue acide par suite du dépôt du zinc (ce qui indique que l'on emploie des anodes inattaquables) et dont la densité a diminué s'écoule, par un trop-plein placé à l'un des coins du bac, dans un réservoir ; une pompe centrifuge ou mieux de l'air comprimé l'élève ensuite dans le *régénérateur*. Cet appareil consiste en un récipient cylindrique muni d'un faux-fond en bois percé de trous, sur lequel on dispose des couches alternatives de coke en petits fragments et de zinc en poudre ; l'acide libre se sature partiellement en dissolvant le zinc et la solution se filtre en traversant le filtre formé par le coke et le zinc. Du régénérateur la solution est conduite dans le bac d'électrolyse par un tuyau aboutissant au fond de ce bac, dans le coin opposé à celui où est disposé le trop-plein. Quand l'air comprimé est employé à l'élévation de la solution dans le régénérateur, cet air est aussi utilisé à mettre en mouvement la solution du bac d'électrolyse ; dans ce but le régénérateur est muni d'un flotteur commandant un robinet placé sur la conduite d'air comprimé et envoyant cet air soit dans le bac d'électrolyse quand le régénérateur est plein, soit au contraire dans le réservoir où se rend la solution acide s'écoulant de ce bac quand le régénérateur a besoin d'être rempli.

L'électrolyte doit être maintenu légèrement acide pour éviter la formation de zinc spongieux ; la pratique indique que la meilleure proportion d'acide est de 0,7 gr d'acide libre par litre ; on reconnaît que cette proportion existe au moyen de réactifs colorants.

L'auteur termine par l'indication des résultats obtenus dans des essais faits dans le but de reconnaître l'influence d'une forte pression sur l'adhérence du dépôt au fer et à l'acier. Des plaques de fer étaient disposées dans un récipient très solide à fermeture hermétique et à enveloppe intérieure en plomb. L'électrolyte était une solution de sulfate de zinc renfermant 200 gr de ce sel et 0,7 gr d'acide libre par litre ; une pompe à main permettait de le comprimer sous une pression de 100 atmosphères ; il n'y avait pas circulation de l'électrolyte. Dans certaines expériences l'enveloppe extérieure en plomb servait d'anode ; dans d'autres on prenait comme anode une feuille de zinc cylindrique suspendue à un crochet dont la tige était séparée par un tube isolant de la masse du couvercle. Le tableau suivant donne le poids de zinc déposé en une heure sur diverses plaques pour diverses valeurs de la densité de courant variant de 15 à 75 ampères par pied carré, ainsi que les poids que théoriquement on aurait dû avoir, l'anode étant une plaque de zinc :

SURFACE des plaques cm^2	DENSITÉ de courant amp : dm^2	POIDS réel du dépôt gr	POIDS théorique gr
113	1,66	3,2	2,80
94	2,22	1,56	2,80
68	2,77	0,84	2,80
48	3,88	0,50	2,80
234	5,00	4,50	13,64
188	6,11	4,50	13,14
156	7,22	6,36	13,44
156	8,33	5,60	15,16

Digitized by Google

Quant à la nature du dépôt, elle a tendance à devenir arborescente et mamelonnée pour les fortes densités de courant. Dans un grand nombre d'essais les plaques présentaient des régions non recouvertes, ce que l'auteur attribue à la présence de bulles gazeuses. Avec des densités de courant supérieures à 5 ampères par dm^2 on entendait parfois des craquements sourds qui cessaient quand on interrompait le courant et redevenaient parfaitement distincts quelques minutes après le rétablissement du courant ; l'apparence des dépôts était cependant la même que dans les essais où ces craquements ne se produisaient pas.

RECHERCHES THÉORIQUES

Pouvoir diélectrique et conductibilité de l'ammoniaque liquide, par **Goodwin** et de **Kay Thompson.** *The Physical Review*, t. VIII, p. 38-48; résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. VIII, p. 682, décembre 1899.

J.-J. Thompson et Nernst ont remarqué que les corps à grand pouvoir diélectrique, comme l'eau, avaient aussi un grand pouvoir de dissociation pour les ions dissous. Or il se trouve, d'après les récentes déterminations de Cady, que la conductibilité moléculaire des sels dissous dans l'ammoniaque liquide à 34° est en général plus grande que pour les mêmes sels en solution aqueuse. D'après cela, l'ammoniaque liquide devrait avoir un pouvoir inducteur au moins égal à celui de l'eau.

Ce pouvoir inducteur, mesuré par la méthode de Drude, est compris entre 21 et 23 à 34°, suivant les échantillons employés. Ce résultat n'est pas pour confirmer les idées de Thompson et Nernst.

La conductibilité électrique, qui diminue avec la température est $K = 1{,}6 \times 10^{-4}$ à — 12° ; avec un coefficient de variation $\frac{\Delta K}{\Delta t} = 0{,}011$.

Influence du diélectrique environnant un fil de cuivre sur sa conductibilité, par **J.-F. Merrill.** *The Physical Review*, t. VIII, p. 112-127, résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. VIII, p. 683, décembre 1899.

Sanford, Grimaldi et Platama ont affirmé cette influence ; Carhart l'a niée. Les expériences effectuées par l'auteur, en employant comme diélectriques l'air, le kérosène, l'alcool, la vapeur d'éther, la benzine liquide et en vapeur, le chloroforme, indiquent que les variations de résistance n'atteignent pas un dix-millième. Dans ces conditions, on peut les attribuer à une altération superficielle du fil métallique.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 12 février 1900.

Sur la dispersion du rayonnement du radium dans un champ magnétique, par **H. Becquerel**, t. CXXX, p. 372-376.

L'auteur fait connaître les résultats de quelques nouvelles expériences confirmant ceux indiqués dans une note récente (1). Ces résultats sont donnés dans le compte rendu de la dernière séance de la Société de Physique, publié plus loin.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 235, 10 février 1900.

Comparaison des diverses formes de l'interrupteur Wehnelt et de l'interrupteur Foucault, par **A. Turpain**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 409.

Dans ces recherches, entreprises dans le but de reconnaître quel genre d'interrupteur convient le mieux pour la production des ondes hertziennes, l'auteur a mesuré pour diverses intensités du courant inducteur, le maximum de longueur d'étincelle en forme d'aigrette et le maximum de longueur d'étincelle en forme de chenille qu'on peut obtenir avec une même bobine. La détermination de la première limite permet d'apprécier la puissance, celle de la deuxième limite permet d'apprécier la rapidité. La constance de ces deux limites indique la régularité.

Digitized by Google

Les interrupteurs employés sont : un interrupteur Foucault, quatre interrupteurs Wehnelt différant les uns des autres par la longueur et le diamètre du fil de platine, sept interrupteurs Wehnelt, genre Caldwell et Simon (1), et enfin des interrupteurs de ce dernier genre, mais un peu modifiés.

Des résultats obtenus (2) l'auteur déduit les conclusions suivantes :

Au point de vue de la *durée* et de l'*économie*, l'interrupteur de Wehnelt à orifices (genre Caldwell et Simon) doit être préféré à l'interrupteur à fil de platine.

Tous les deux sont préférables à l'interrupteur de Foucault, tant à ces points de vue qu'à ceux de la *commodité* et de la *rapidité*.

Quant à la *régularité* et à la *puissance*, le Foucault, dans les limites de vitesse entre lesquelles il fonctionne, ne le cède pas au Wehnelt. Il permet en outre, de faire varier à volonté le nombre des interruptions par seconde.

Sur les courants thermomagnétiques, par **G. Moreau**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 412-414.

Dans une note récente (1) l'auteur montrait

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 182, 4 novembre 1899.

(2) Voici ces résultats :

Interrupteur Foucault. — Pour obtenir l'étincelle-chenille, il faut faire vibrer la tige de l'interrupteur avec la plus grande rapidité possible. Pour de fortes intensités, on est limité quant à la rapidité des interruptions, si on veut conserver leur régularité. Lorsqu'on réduit alors la distance explosive, on passe de l'étincelle ordinaire à une étincelle entourée d'une gaine de flammes sans atteindre l'étincelle-chenille.

En faisant varier l'intensité du courant primaire de 7 à 20 ampères, la longueur de l'étincelle ordinaire augmente de 20 à 41 cm ; la longueur de l'étincelle-chenille qui est de 6 cm pour 8,5 amp. atteint la valeur de 13 cm pour 13,5 amp.

Interrupteur Wehnelt à fil de platine. — L'emploi d'un long fil de platine rend les interruptions irrégulières ; pour des courants intenses, le fil rougit, la caléfaction se produit, l'interrupteur cesse de fonctionner. Un fil court (1 mm à 3 mm) donne un interrupteur rapide, régulier et ne se caléfiant pas. Il est toutefois difficile d'empêcher la rupture de la soudure du platine au tube de verre qui le supporte, rupture d'autant plus fréquente que le courant est plus intense. On retarde cette rupture sans l'éviter, en garnissant la soudure d'une couche de mastic Golaz. Cet inconvénient empêche l'interrupteur à fil de platine d'être durable.

On recueille de l'oxygène au voisinage du fil tant qu'il y a électrolyse et que l'interrupteur ne fonctionne pas. Dès que l'interrupteur fonctionne, un mélange détonant d'hydrogène et d'oxygène se dégage au voisinage du fil.

Les longueurs d'étincelle obtenues sont indiquées au tableau ci-dessous, pour trois valeurs du diamètre et quatre valeurs de la longueur du fil de platine.

			LONGUEUR	
Diamètre	Longueur	Intensité	Étincelle aigrette	Étincelle chenille
0,7 mm	5,25 mm	7,25 amp	17 à 20 cm	4 à 6 cm
0,7	4	8,25	18 à 20	7 à 9 cm
1,2	1,5	6,50	19,5	14 cm
1	2	4,50	22	14,5 cm

Interrupteur Wehnelt sans électrode filiforme. — Deux vases d'inégales grandeurs, dont le plus petit est percé d'un ou plusieurs trous de 1 à 2 mm de diamètre, disposés à l'intérieur l'un de l'autre, remplis d'une solution d'acide sulfurique au dixième et contenant chacun une électrode formée par une lame de plomb, constituent un interrupteur du genre Wehnelt.

Il y a intérêt à employer un vase percé du plus grand nombre de trous possible, les trous ayant le plus petit diamètre possible.

En faisant varier le nombre des trous de 1 à 7 et l'intensité de 3,5 à 15 ampères, la longueur de l'étincelle aigrette a varié de 23 à 30,5 cm et celle de l'étincelle-chenille de 7 à 15 cm, ces longueurs passant par des maximum respectivement égaux à 31,5 et 23 cm pour 4 orifices et une intensité de 7 ampères.

En disposant trois vases d'inégales grandeurs, intérieurs les uns aux autres, percés de trous à l'exception du vase extérieur et contenant chacun une électrode formée d'une lame de plomb, on réalise un interrupteur pouvant fonctionner avec des différences de potentiel variables. Si le vase intérieur porte trois trous et le vase moyen six trous, en employant 50 volts on fonctionne avec l'électrode intérieure et l'électrode moyenne ; pour 120 volts, on se sert de l'électrode moyenne et de l'électrode extérieure ; avec 240 volts, on utilise l'électrode intérieure et l'électrode extérieure.

Dans l'interrupteur à orifices, avant le fonctionnement, aucun dégagement gazeux ne se produit au voisinage des trous, l'anode dégage de l'oxygène ; la cathode, de l'hydrogène. Dès que l'interrupteur fonctionne, au voisinage des trous qui deviennent lumineux on recueille un mélange détonant.

Dans un interrupteur à orifices, dont les électrodes sont des lames de cuivre et le liquide du sulfate de cuivre, on recueille pendant le fonctionnement un mélange détonnant au voisinage des trous. Un interrupteur à fil de cuivre et à sulfate de cuivre fonctionne en dégageant au voisinage du fil un mélange détonant. Ces faits mettent hors de doute que l'électrolyse ne joue aucun rôle dans le fonctionnement de l'interrupteur à fils ou à orifices.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 154, 27 janvier 1900.— Depuis la publication de cette note, M. Voigt

Digitized by Google

que l'effet thermomagnétique et l'effet Hall sont liés l'un à l'autre, et que si l'on appelle K et c les coefficients de ces deux effets pour la même lame métallique, σ et ρ la chaleur spécifique d'électricité et la résistivité on a la relation $\rho K = \sigma c$. Il montrait en outre que cette relation est très sensiblement vérifiée avec les nombres de Nernst.

Dans la note qui nous occupe, M. Moreau indique les résultats des mesures des quantités ρ, σ, K et c faites par lui sur des lames de fer, d'acier et de cobalt (1), et fait voir que ces résultats sont d'accord avec la relation précédente.

Voici ces résultats :

1° L'effet thermomagnétique et l'effet Hall sont exactement proportionnels à l'aimantation de la plaque. Les coefficients K et c sont *constants* pour le fer jusqu'à 16 000 unités pour le champ extérieur ; pour l'acier et le cobalt jusqu'à 9000 et 10 000 unités. Pour des champs plus élevés ils décroissent graduellement. Ces résultats pour l'effet Hall, sont analogues à ceux de Kunt (1).

2° Entre 0 et 60°, température limite des observations, c et K sont des fonctions linéaires de la température, $a+bt$, et $a_1-b_1t_1$, dont les coefficients satisfont, pour une même plaque, sensiblement à la relation $\frac{a}{b}=\frac{a_1}{b_1}$. On en conclut que la rapport de c à K est indépendant de la température, et comme σ est proportionnel à la température absolue, la relation $\rho K = \sigma c$ montre alors que ρ doit aussi être proportionnel à la température absolue ; on retrouve la loi de la proportionnalité de la résistande électrique à la température absolue, loi à peu près vérifiée pour les métaux purs à l'état solide.

3° Les trois métaux étudiés vérifient la formule $\rho K = \sigma c$ à toute température comprise entre 0° et 60°

Pour effectuer cette vérification M. Moreau a pris la moyenne φ des valeurs peu différentes du rapport c à K à différentes températures ; il a calculé la valeur ρ_0 de ρ pour la température de 0°C. au moyen de la relation précédente et a comparé la valeur calculée avec la valeur expérimentale. Il a trouvé les nombres suivants :

	φ.	σ.	$\rho=\sigma\varphi$.	ρ_0 calculé	ρ_0 observé
Fer doux recuit	—13,22	—3,68T	48,149T	13281	13952
Acier doux recuit	—11,38	—3,54T	40,285T	10997	10990
Cobalt recuit(2)	— 2,57	—13,9T	37,252T	10169	10253
Cobalt non recuit (2) . . .	— 2,68				

Dans ce tableau T désigne la température absolue.

---

a adressé à l'Académie (*Comptes rendus*, t. CXXX, p. 360) une lettre dans laquelle il dit avoir publié la relation indiquée dans la note de M. Moreau dès avril 1898 dans les *Nahrichten d. k. Gesellschaft d. Wiss. zu Gœttingen*. M. Moreau, qui ignorait ce travail, se propose de montrer prochainement qu'il présente avec le sien une différence importante

(1) Ces mesures se faisaient comme il suit :

Dans le champ horizontal d'un fort électro-aimant Weiss, la lame mince est placée verticalement et normalement aux lignes de force. Elle est isolée thermiquement des armatures par des plaques de liège et d'amiante. Son extrémité inférieure plonge dans un bain de mercure à température constante. Son extrémité supérieure est encastrée dans une forte barre de cuivre, horizontale et chauffée en un point. On obtient ainsi dans la lame un flux calorifique vertical, constant à l'état permanent. Dans la région centrale du champ, trois sections de la lame, horizontales et équidistantes, sont garnies chacune de deux couples platine-cuivre, soudés sur les bords. Ils donnent pour chaque section la température moyenne et, par suite, la chute $\frac{\Delta t}{\Delta x}$ pour la section médiane. Les deux fils de cuivre des couples de cette dernière section sont reliés à un galvanomètre de Nobili gradué en forces électromotrices. On peut ainsi mesurer la *force électromotrice transversale magnétique* correspondant à une chute $\frac{\Delta t}{\Delta x}$, un champ H et une température t.

Pour la même section médiane, l'effet Hall est évalué en superposant au flux calorifique un courant électrique primaire I mesuré par un ampèremètre de Hartmann étalonné. L'effet transversal obtenu est la somme ou la différence des deux effets, soit l'effet Hall.

(1) *Wied. Ann.*, t. XLIX, 1893.

(2) On remarquera que le recuit n'a pas modifié, pour le cobalt, le rapport de c à K, bien qu'il ait modifié considérablement les valeurs des coefficients c et K. Comme d'ailleurs les variations de K s'expliquent par celles de c, puisque l'effet Hall est le phénomène primordial, on est en droit d'admettre que l'état moléculaire de la plaque a une influence considérable sur la valeur de c. Ceci paraît être une nouvelle preuve que le phénomène de Hall est dû à une déformation de la plaque sous l'influence du champ magnétique et suffit à expliquer les différences, souvent très grandes, observées entre les valeurs de c, pour un même corps, par différents expérimentateurs

Digitized by Google

Les valeurs de φ sont connues à $\frac{1}{30}$ de leur valeur. On peut alors regarder l'accord comme établi entre les nombres des deux dernières colonnes et par suite la formule $\varphi K = \sigma c$ comme vérifiée en signe et en grandeur.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 16 février 1900.

M. Sacerdote expose ses ***Recherches théoriques sur les déformations électriques des diélectriques solides isotropes***, recherches qui seront publiées prochainement dans cette revue.

M. Sagnac fait observer, à propos d'un point de cette communication, que l'action de la chaleur, si elle est due à l'intermédiaire de l'éther, ne peut cependant pas être rapprochée de celle du champ électrique qui produit la contraction des gaz. La chaleur agit sur la molécule elle-même, qui se trouve déformée ; la contraction électrique peut très bien s'expliquer dans les idées de Poisson, par la variation d'attraction entre les molécules, que cause l'influence du champ électrostatique. Il se produirait seulement des tensions variables de l'éther entre les molécules, qui resteraient sans modification à leur intérieur.

La comparaison avec le phénomène de Kerr permet de préciser cette idée ; supposons que ce phénomène qui, comme l'ont montré MM. Abraham et Lemoine (1) ne dépend pas d'une déformation d'ensemble du corps, soit observable sur diverses vapeurs polyatomiques, mais qu'il ne se produise pas avec la vapeur de mercure. On dira que le phénomène de Kerr est dû à une déformation de la molécule, puisqu'il disparaît quand on cherche à agir sur des atomes isolés.

M. H. Becquerel fait connaître les résultats qu'il a récemment obtenus sur la ***Dispersion du rayonnement du radium dans un champ magnétique.***

Dans ces nouvelles expériences on a obtenu un champ magnétique uniforme de 1742 C. G. S. en prenant comme pièces polaires des parallélipipèdes de fer ayant pour base 10×14 cm et séparés par une distance de 3,3 cm. On s'est préoccupé d'éliminer l'absorption due au papier noir qui enveloppait les plaques photographiques dans la plupart des expériences précédentes, en rassemblant la matière active dans un trou de 1 mm percé dans une carte et en la plaçant dans une petite cuve de plomb reposant directement sur la gélatine.

1° *Vérification de la direction des trajectoires.* — Les premières expériences avaient conduit M. Becquerel à penser que les rayons les plus efficaces sont ceux dont les trajectoires coupent la plaque photographique au voisinage de leur enveloppe, c'est-à-dire dans le cas où la substance est sur la plaque, ceux qui rencontrent la plaque normalement. L'étude des ombres montre qu'il en est bien ainsi ; en disposant parallèlement à la plaque à 0,3 mm au-dessus et obliquement au champ, une petite barre de verre de 1,5 mm de côté, on constate que l'ombre produite par les rayons déviés présente une pénombre due à la largeur de la source et que la largeur et la netteté de l'ombre sont d'autant plus grandes que la longueur de la trajectoire a été plus grande. L'aluminium semble être absolument transparent, car l'introduction d'un demi-cylindre de ce métal, ayant 0,1 mm d'épaisseur et parallèle au champ, ne change rien aux résultats.

2° *Variation de l'absorption avec la position des écrans.* — Un écran posé sur la plaque ne permet l'impression que sur une bande limitée à une certaine distance de la matière obtenue ; mais si l'on place l'écran sur la parcelle de radium, l'impression photographique s'étend jusqu'auprès de la source, comme si l'écran laissait maintenant passer, en les affaiblissant plus ou moins, toutes les radiations. Le fait a été observé avec du papier noir et des feuilles d'aluminium, de cuivre et de plomb d'environ 0,1 mm d'épaisseur.

Si on donne aux écrans la forme d'un demi-cylindre, on obtient des résultats différents : le plomb arrête toutes les radiations sous une épaisseur de 0,33 mm. Cependant la plaque est fortement impressionnée à travers la cuve qui contient le radium et qui a 0,3 mm d'épaisseur ; il est vrai que cette impression est due en partie aux rayons non déviables.

Deux lames d'aluminium, dont l'une est posée sur la plaque et l'autre parallèlement à 2 mm au-dessus, donnent la même impression quali-

(1) M. Abraham annonce, à ce propos, qu'il vient de démontrer, avec M. Lemoine, que la durée de disparition de la polarisation est inférieure à un centmillionième de seconde.

Digitized by Google

tative ; avec trois lames, l'une horizontale sur la plaque, une seconde à 45° et une autre verticale, la limite des radiations absorbées se rapproche progressivement de la source.

3° *Spectres d'absorption de diverses substances.* — Le spectre d'émission du radium se présente comme continu ; on pourrait caractériser chaque radiation par le rayon de courbure ρ de sa trajectoire dans un champ déterminé ou mieux, par le produit constant Hρ de ce rayon de courbure par l'intensité du champ.

Le spectre d'absorption est déterminé par l'arc elliptique suivant lequel est impressionnée une plaque photographique sur laquelle est placé le corps absorbant. Le petit axe de cette ellipse est le double du rayon de courbure minimum des trajectoires des radiations transmises ; sa longueur, dans un champ de 1742 C.G.S., a été de 7,5 mm pour le papier noir, de 11,5 mm pour une lame d'aluminium de 0,1 mm d'épaisseur, de 0,13 mm pour une lamelle de verre, etc.

M. Villard rappelle une expérience qu'il a décrite dans la séance du 2 avril 1897 : Si l'on reçoit les rayons cathodiques sur une lame d'aluminium ou de magnésium battu, suffisamment mince, on constate l'existence d'un faisceau émergent *normal* à la lame. On peut avoir aussi, du côté où arrivent les rayons incidents un faisceau également normal. Ces faits semblent exclure la possibilité d'un mouvement vibratoire qui constituerait le rayonnement cathodique, et ne permettre d'autre explication que celle d'une émission secondaire par la lame. Supposons que la lame-émission s'étende jusqu'aux parois du tube de Crookes et leur soit réunie d'une façon continue, on aura deux cavités distinctes, c'est-à-dire le dispositif de Lénard. L'égalité de vitesse des rayons cathodiques primitifs et des rayons qui, d'après Lénard, ont traversé une fenêtre d'aluminium, égalité qui a été vérifiée, résulterait de cette explication. Si l'on veut rapprocher les rayons du radium des rayons cathodiques, il faudra sans doute tenir compte de la possibilité d'une émission secondaire par les écrans. C. R.

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 9 février 1900.

L'élection du bureau occupe le commencement de la séance. Le nouveau président, le professeur O. Lodge, fait ensuite, comme discours d'ouverture, une communication sur un sujet actuellement très discuté en Angleterre :

Controverse concernant la force électromotrice de Volta.

En voici le résumé publié par les journaux anglais :

Ceux qui admettent l'existence d'une force électromotrice au contact de deux métaux nient que l'effet Peltier mesure la force électromotrice locale existant au contact ; ils affirment que celui-ci mesure la variation qu'éprouve cette force électromotaice avec la température. Dans l'équation thermodynamique reliant l'effet Peltier à la variation de la force électromotrice E avec la température, cette force électromotrice variable E n'est pas précisément celle qui existe à la jonction considérée, mais est la force électromotrice totale du circuit. La chaleur réversible dégagée sur une surface de contact donnée est au contraire une mesure de la force électromotrice métallique localisée à ce contact. Ceux qui prétendent que c'est une variation de la force électromotrice due à la température supposent implicitement que la force électromotrice totale du circuit est localisée aux contacts particuliers qu'ils considèrent, généralement le contact entre le zinc et le cuivre. Lorsque le contact est de nature chimique, la force électromotrice n'est pas purement thermique et par suite n'est pas mesurée par l'effet Peltier ; elle est principalement d'origine chimique et se déduit de l'énergie de combinaison des matières situées de part et d'autre de la surface de contact. A un contact métallique, il n'y a pas d'énergie potentielle chimique de ce genre ; un courant intense peut traverser pendant plusieurs années un contact zinc-cuivre sans qu'il se forme du laiton ; il est par conséquent improbable que l'affinité chimique du zinc pour le cuivre soit la cause de la force électromotrice localisée à la surface de contact.

Dans l'expérience fondamentale de Volta, une trace de liquide peut agir en formant entre les plaques un pont conducteur à travers lequel l'électricité passe, bien que les métaux fussent séparés. La définition la plus claire et la plus satisfaisante de l'effet Volta est de dire qu'il consiste en charges opposées acquises par le zinc et par le cuivre secs, tandis que dans un contact métallique il y a une charge qui résulte d'une force électromotrice de valeur donnée et

Digitized by Google

qui dépend seulement de cette force électromotrice et de la capacité électrostatique. Il est indéniable que l'ordre de grandeur de l'effet Volta puisse être calculé au moyen de la différence des chaleurs de combinaison des métaux avec l'oxygène, tandis qu'il est douteux qu'il puisse être calculé de la chaleur de formation du laiton. Les deux points de vue auxquels on se plaçait dans la vieille controverse classique et connue sous les noms de théorie du contact et de théorie chimique étaient bien nettement séparés. Aujourd'hui les deux points de vue auxquels on se place dépendent à la fois de considérations de contact et de considérations chimiques. La question qui se pose est de savoir lequel de plusieurs contacts est le contact effectif et quelle espèce d'action chimique ou d'affinité est la cause active. Est-ce le contact et l'affinité chimique sur la surface de contact des métaux mêmes ou sur la surface de contact de chaque métal et de l'air ? Ces deux points de vue sont donc à la fois d'ordre métallique et diélectrique. La force électromotrice de contact métal-air est de l'ordre du volt; celle du contact métal-métal est de l'ordre du millivolt. Quand un morceau de zinc est placé en contact avec un morceau de cuivre, les atomes d'oxygène qui entourent ces corps s'éloignent légèrement du cuivre et se rapprochent légèrement du zinc. Ces petits mouvements produisent l'effet Volta. La seule partie du milieu gazeux qu'il soit nécessaire de considérer est la couche adhérente à la surface ; tout le reste du gaz n'agit que comme diélectrique et le vide peut être substitué au gaz.

NORTHWESTERN ELECTRICAL ASSOCIATION

Réunion annuelle des 17 et 18 janvier 1900 (1).

Sur l'utilisation des stations génératrices d'électricité comme stations centrales de chauffage, par **W.-H. Schott.**

Un certain nombre d'usines électriques américaines utilisent la vapeur d'échappement de leurs moteurs pour le chauffage des maisons situées jusqu'à deux et trois kilomètres de l'usine. Cette distribution de la chaleur peut s'effectuer soit au moyen de la vapeur elle-même, soit au moyen d'eau chauffée par la vapeur d'échappement et refoulée par des pompes. L'auteur est d'avis que quand la distribution doit embrasser une aire assez étendue (un cercle de 2 à 3 km de rayon) ce dernier système est préférable au premier.

Les avantages qu'il trouve à la distribution par eau chaude sont : moindre diamètre des tuyaux de la canalisation ; emploi d'une moindre quantité de substance calorifuge tant à cause de la diminution de la surface des tuyaux que de la diminution de la température du fluide qui les parcourt ; moindre difficulté dans le maintien de l'étanchéité des joints résultant de cette diminution de température ; possibilité d'emmagasinement de la chaleur par l'emploi d'une quantité d'eau suffisante pour absorber toute la vapeur d'échappement au moment de la production maximum ; enfin possibilité pour le consommateur d'employer l'agent qui apporte la chaleur non seulement pour le chauffage de ses appartements mais encore pour le lavage et les bains. Toutefois ce dernier avantage ne peut toujours être considéré, car alors l'usine électrique deviendrait une véritable station de distribution d'eau chaude, ce qu'elle ne peut faire si cela n'est pas prévu dans l'acte de concession qui lui a donné l'autorisation de distribuer l'énergie électrique, tandis qu'elle peut toujours revendiquer le droit de distribuer la vapeur d'échappement, celle-ci pouvant être considérée comme un sous-produit de la génération de l'électricité.

D'après la discussion qui suit cette communication, cette utilisation de la vapeur serait des plus rémunératrices : les recettes annuelles seraient de 33 p. 100 du capital d'installation d'après M. Doherty et atteindraient même 65 p. 100 pour une usine pouvant ainsi utiliser toute sa vapeur d'après M. Schott. Dans une usine, dirigée par l'un des membres prenant part à la discussion, les recettes s'élèvent déjà à 23 000 fr pour 39 clients situés à des distances de l'usine atteignant 2 km ; la distribution se fait par l'eau chaude comme le recommande M. Schott.

La discussion porte ensuite sur les dimensions qu'il convient de donner aux conduites et aux appareils de chauffage. Les diverses opinions exprimées à ce sujet indiquent que la section des conduites d'eau peut être d'un tiers inférieure à celles des conduites de vapeur mais que les radiateurs

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 17 février, p. 277. — Outre les quatre communications analysées dans ce dernier numéro et les deux analysées ci-dessous, nous devons signaler une intéressante communication de M. R.-D. Mershon sur les *Moteurs d'induction polyphasés*.

Digitized by Google

à eau chaude doivent avoir une surface radiante moitié plus grande que les radiateurs à vapeur; toutefois dans plusieurs installations où l'on a substitué la distribution par l'eau chaude à la distribution par la vapeur on a pu sans inconvénient conserver les radiateurs existants

Essais de lampes à incandescence, par **G.-D. Shepardson**.

Ces essais ont été faits sous la direction du professeur Shepardson par MM. H. Hildebrant et A.-C. Pratt, étudiants de l'Université de Minnesota. Ils consistent dans la détermination de l'intensité lumineuse et de la puissance consommée à diverses époques de leur vie par des lampes à incandescence de 16 bougies choisies parmi divers lots pris chez douze fabricants sans que ceux-ci connussent l'usage auquel on les destinait. Quelques essais préliminaires firent éliminer les lampes de quatre fabriques pour manque d'uniformité. Dix lampes de chacune des huit autres fabriques furent comparées sommairement aux lampes servant d'étalons ; on en trouva 55 dont l'intensité lumineuse et la consommation de puissance avaient des valeurs très proches des intensités lumineuses et consommation de quelqu'une des lampes étalons ; ces 55 lampes furent soumises aux essais définitifs.

Ces essais montrèrent que ces lampes avaient au début des intensités lumineuses s'échelonnant de 14,1 à 23 bougies bien qu'elles fussent toutes vendues comme lampes de 16 bougies ; la consommation par bougie était comprise entre 2,32 et 4,10 watts. En prenant la moyenne des valeurs trouvées pour les lampes d'une même marque on obtient pour ces moyennes des nombres compris entre 15,2 et 22 bougies pour l'intensité lumineuse et entre 2,42 et 3,6 watts pour la consommation par bougie. Les moyennes de l'ensemble des lampes étaient respectivement 18,3 bougies et 3,1 watts. Les mesures faites après 50, 100, 400, 600 et 800 heures de fonctionnement donnèrent les résultats suivants :

	VALEURS EXTRÊMES		VALEURS MOYENNES	
	Intensité lumin. bougies	Consommation watts	Int. lumineuse bougies	Consommation watts
Au début...	14,1 à 33	2,32 à 4,10	18,3	3,1
après 50 h.	8,2 à 23	2,32 à 4,10	17,5	3,27
» 100 h.	10,1 à 23,2	2,52 à 5,02	17,5	3,3
» 400 h.	11,3 à 19	3 à 4,31	16	3,53
» 600 h.	11,4 à 18,8	3,24 à 4,26	14,7	3,82
» 800 h.	10,8 à 16,4	3,6 à 4,4	»	»

Parmi les lampes essayées, quelques-unes brûlaient « bleu » ; leur vie fut très courte. Toutes les lampes d'une même marque présentant cette particularité furent mises hors d'usage après 100 heures au plus de fonctionnement ; celles d'un autre lot durèrent moins de 300 heures à l'exception d'une qui dura 350 heures. Ces deux lots provenaient d'une livraison faite à une compagnie d'éclairage ayant l'intention de changer son modèle de lampes ; il est probable que ces lampes avaient été construites pour un voltage inférieur à celui pour lequel elles ont été livrées.

D'autres essais furent faits pour reconnaître l'influence sur la consommation et la durée des lampes des variations de tensions qui se produisent sur un circuit dont la tension est mal réglée. Un certain nombre de lampes furent placées sur un circuit dont la tension variait de 104 à 118 volts. Les lampes à faible consommation furent détruites en moins de 300 heures bien que quelques lampes des mêmes marques aient duré 800 heures dans les essais à voltage constant. Les lampes à plus grande consommation (3,5 à 4 watts par bougie) supportèrent beaucoup mieux les variations de voltage, mais leur intensité lumineuse subissait en 300 heures la même chute qu'en 800 heures sur le circuit à potentiel constant.

Pour quelques-unes des lampes ayant subi l'essai à voltage variable on chercha sous quelle différence de potentiel il fallait les faire fonctionner pour donner à leur intensité lumineuse sa valeur primitive. Trois lampes marquées pour 108 volts exigeaient respectivement 111,4, 112,6 et 114,6 volts ; une autre marquée pour 110 volts et ayant fonctionné 150 heures sur le circuit à voltage variable exigea 120 volts. Avec ces différences de potentiel le rendement lumineux de ces lampes était de 1 à 8 p. 100 plus bas que le rendement initial. Ces résultats justifient la pratique adoptée dans diverses installations d'enlever, après un certain temps de fonctionnement, les lampes placées assez loin de la dynamo pour les mettre alors dans le voisinage même de la dynamo où le potentiel moyen est plus élevé et où elles achèvent leur vie dans de meilleures conditions de rendement que si on les avait laissées à leurs places primitives.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 3 Mars 1900. 7e Année. — N° 9

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

SUR L'EMPLOI DE L'ALUMINIUM

POUR LES CANALISATIONS ÉLECTRIQUES (1)

En comparant le cuivre et l'aluminium, on reconnaît les propriétés caractéristiques suivantes :

	Aluminium.	Cuivre.
Poids spécifique	2,68	8,93
Poids spécifique relatif	1,00	3,33
Conductibilité	54 à 63	96 à 99
Résistance à la traction par mm² (Aluminium	16,87 à 36,665 kg.	
(Cuivre	21,10 à 45,70 kg.	

Les différentes qualités des métaux qu'on trouve sur le marché et par conséquent, leurs différentes caractéristiques électriques et mécaniques empêchent d'ailleurs de donner des rapports absolus. Les sections des conducteurs en aluminium et en cuivre sont en raison inverse de leur conductibilité $\frac{S_a}{S_c} = \frac{97}{61} = 1{,}59$ en moyenne (ce rapport est approximativement le même que celui des sections de deux fils séparés de un numéro de la jauge Brown et Sharpe). Pour obtenir la même conductibilité, on prendra donc un fil de cuivre de section 1 et un fil d'aluminium de 1,59. Au point de vue de la charge de rupture, le rapport 1,59 ne se conserve pas.

Le poids par kilomètre de fil d'aluminium est 47,77 p. 100 du poids de la même longueur de fil de cuivre d'égale conductibilité.

(1) Cet article est une analyse de travaux parus récemment dans quelques revues américaines, en particulier *the Journal of Electricity, Power and Gaz*, t. VIII, n° 1 (les tables sont tirées de ce journal et ont été réduites en unités françaises et pourront, nous l'espérons, rendre quelques services). *Lightning*, t. XVI, nos 404 et 409 (articles du Dr John B.-C. Kershaw). *Electrical Review*, t. XXXV, n° 9 (article de M. Charles T. Child).

Digitized by Google

I. — *Facteurs pour différentes valeurs de la conductibilité de l'aluminium.*

Cuivre, 97.

Conductibilité de l'aluminium.	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54
Section relative (Cuivre = 100.)	154 »	156,5	159 »	161,7	164,4	167,3	170,2	173,2	176,2	179,2
Poids de l'aluminium (Poids du cuivre de même longueur et de même résistance = 100.)	46,25	47 »	47,77	48,55	49,38	50,04	51,11	52,02	52,97	53,95
Tension (Facteur par lequel il faut multiplier la tension par cm² d'un conducteur d'aluminium, pour obtenir la tension par cm², qu'il faudrait donner à un conducteur de cuivre de même résistance électrique pour qu'ils se rompent tous deux sous la même charge.)	154 »	156,5	159 »	161,7	164,4	167,3	170,2	173,2	176,3	179,7
Prix (Facteur par lequel il faut multiplier le prix du cuivre par kg, pour obtenir le prix équivalent de l'aluminium : et aussi par lequel il faut diviser le prix de l'aluminium par kg, pour obtenir le prix équivalent du cuivre.)	2,16	2,13	2,1	2,06	2,03	1,99	1,96	1,92	1,89	1,84
Prix (Facteur par lequel il faut diviser le prix du cuivre par kg pour obtenir le prix équivalent d'aluminium : et aussi par lequel il faut multiplier le prix de l'aluminium par kg, pour obtenir le prix équivalent du cuivre.)	0,4625	0,47	0,4777	0,4855	0,4938	0,5024	0,5111	0,5202	0,5297	0,5395

Digitized by Google

II. — *Poids et résistance à la traction comparés du fil d'aluminium et du fil téléphonique de cuivre à conductibilité égale.*

FIL D'ALUMINIUM 75 A. — CONDUCTIBILITÉ 58 A L'ÉCHELLE DE MATTHIESEN.

	Cuivre.	Aluminium.
Section de comparaison pour égale conductibilité.	100	167
Poids de longueurs données d'égale conductibilité	100	50,2

Nos	CUIVRE		ALUMINIUM	CUIVRE	ALUMINIUM		
	Jauge.	Diamètre en mm.	Diamètre en mm.	Poids par km en kg.	Poids par km en kg.	Résistance à la traction par mm q.	Résistance à la traction comparativement au cuivre de même conductibilité.
16	B.W.G.	1,650	2,14	19,175	9,30	29,526	70.140
14	B.I.S.	2,032	2,63	28,8	14,55	28.120	66,800
12	B et S	2,05	2,655	29,5	14,85	28,120	66,800
13	B.I.S.	2,34	3,02	38,08	19,175	26,714	63,460
10	B et S	2,58	3,34	45,8	23,600	25,308	60,000
12	B.I.S.	2,64	3,415	48,8	24,600	25,308	58,450
10	B.I.S.	3,25	4,200	74,0	37,2	24,605	58,450
8	B et S	3,265	4,225	74,8	37,5	24,605	58,450
10	B. W. G.	3,400	4,400	81,0	40,75	23,902	58,780
8	B. W. G.	4,200	5,525	122,8	61,75	23,199	55,000

III. — *Résistance électrique et résistance à la traction du fil téléphonique d'aluminium.*

TYPE	CONDUCTIBILITÉ p. 100.	Section d'égale conductibilité comparée à 100 de cuivre.	Poids de longueurs données d'égale conductibilité, cuivre = 100.
A. O.	62	156,4	47
A. 75	58	167	50,2
A. 2	54	180	54

NUMÉRO de la jauge B et S	DIAMÈTRE en mm.	TYPE A. O.		TYPE A 75		TYPE A. 2.	
		Résistance par km à 24° C.	Résistance à la traction.	Résistance par km à 24° C.	Résistance à la traction.	Résistance par km à 24° C.	Résistance à la traction.
4	5,181	1,31634	18,981	1,3991	23,199	1,5109	28,12
5	4,612	1,65953	19,323	1,7744	23,902	1,9089	29,526
6	4,114	2,0933	19,684	2,2376	24,605	2,4033	30,932
7	3,657	2,6392	20,387	2,8217	25,308	3,0300	32,338
8	3,251	3,3926	21,090	3,6255	26,011	3,8945	33,744
9	2,895	4,1931	22,496	4,4771	27,417	4,8165	35,150
10	2,590	5,2923	23,199	5,6564	28,120	6,078	35,853
11	2,311	6,6703	24,605	7,1296	28,823	7,6611	37,259
12	2,057	8,4157	27,417	8,9932	29,526	10,1186	38,665

Digitized by Google

IV. — *Table des dimensions et poids des fils d'aluminium.*

POIDS SPÉCIFIQUE DE L'ALUMINIUM = 2,68. — POIDS SPÉCIFIQUE DU CUIVRE = 8,93 PAR DÉCIMÈTRE CUBE.

N°s de la JAUGE B et S	DIAMÈTRE en mm.	SECTION en mmq.	POIDS ET LONGUEUR			
			Kg par km. Aluminium.	Kg par km. Cuivre.	Mètres par kg. Aluminium.	Mètres par kg. Cuivre.
0000	11,685	107,21582	287,16	956,85	3,484	1,161
000	10,405	85,02300	227,72	758,80	4,394	1,464
00	9,266	67,43003	180,50	601,715	5,541	1,847
0	8,255	53,46307	143,20	477,185	6,987	2,318
1	7,340	42,40700	113,59	378,50	8,809	2,936
2	6,553	33,63115	90,08	299,16	11,107	3,721
3	5,816	26,6281	71,435	238,00	14,009	4,668
4	5,181	21,15027	56,65	188,78	17,661	5,885
5	4,612	16,76735	44,92	149,68	22,274	7,424
6	4,114	13,30085	35,607	118,73	28,092	9,357
7	3,657	10,54739	28,26	94,170	35,406	11,808
8	3,251	8,96489	22,41	74,670	44,651	14,878
9	2,895	6,63462	17,76	59,19	56,328	18,770
10	2,590	5,25996	13,74	45,775	71,017	23,664
11	2,311	4,17212	11,167	37,235	89,537	29,835
12	2,057	3,308667	8,863	29,530	112,803	37,621
13	1,828	2,62465	7,002	23,45	142,370	47,440
14	1,625	2,03019	5,570	18,55	179,538	59,823
15	1,447	1,65014	4,419	14,70	226,417	75,445
16	1,295	1,30873	3,505	11,68	285,47	95,122
17	1,143	1,03777	2,780	9,26	359,94	119,732
18	1,016	0,82300	2,204	7,34	454,05	151,294
19	0,914	0,65612	1,757	5,82	272,40	196,727
20	0,812	0,51785	1,386	4,62	721,80	250,516
21	0,711	0,39704	1,099	3,66	910,32	303,327
22	0,635	0,31669	0,872	2,90	1 147,74	382,435
23	0,571	0,25609	0,691	2,30	1 448,24	482,258
24	0,508	0,20268	0,548	1,83	1 825,09	608,140
25	0,457	0,16403	0,435	1,45	2 301,37	766,830
26	0,406	0,12946	0,345	1,149	2 901,55	966,810
27	0,355	0,09898	0,2735	0,911	3 660,14	1 220,000
28	0,330	0,08553	0,217	0,722	4 615,38	1 537,87
29	0,287	0,064691	0,172	0,573	5 845,08	1 946,65
30	0,255	0,051071	0,1365	0,455	7 336,22	2 444,53
31	0,226	0,040115	0,108	0,360	9 248,60	3 501,72
32	0,202	0,032047	0,08585	0,286	11 666,66	3 877,45
33	0,180	0,025447	0,068	0,227	14 707,86	4 900,84
34	0,160	0,020106	0,0539	0,186	18 553,32	6 182,13
35	0,142	0,0158368	0,0427	0,143	23 390,51	7 813,61
36	0,127	0,0126677	0,0339	0,113	29 486,62	9 825,04
37	0,116	0,0105683	0,0269	0,0896	37 188,75	12 391,68
38	0,101	0,0080118	0,02135	0,0710	46 894,65	15 625,75
39	0,0896	0,0063053	0,0170	0,0564	59 154,95	16 711,04
40	0,080	0,0050265	0,0134	0,0447	74 658,63	24 876,90

Digitized by Google

V. — *Poids des fils d'aluminium, fer forgé, acier, cuivre et bronze.*

JAUGE AMÉRICAINE BROWN ET SHARPE.

Le fer étiré est 2,8724 fois plus lourd que l'aluminium étiré.
L'acier étiré est 2,9322 — —
Le cuivre étiré est 3,3321 — —
Le bronze étiré est 3,1900 — —

NUMÉRO de la jauge.	DIAMÈTRE du fil en mm.	MÈTRES par kg. Aluminium.	POIDS DE 1 KM DE FIL				
			Aluminium.	Fer forgé.	Acier.	Cuivre.	Bronze.
0000	11,685	3,484	287,16	824,31	841,46	956,31	915,43
000	10,405	4,394	227,72	653,72	667,21	757,87	726,025
00	9,266	5,541	180,58	518,54	529,21	601,45	575,77
0	8,255	6,987	143,20	411,13	419,65	476,90	456,56
1	7,340	8,809	113,59	326,04	332,84	377,76	362,105
2	6,553	11,107	90,08	258,58	263,94	299,98	287,154
3	5,816	14,009	71,435	205,66	209,32	237,87	227,694
4	5,181	17,661	56,65	162,61	166,02	188,65	180,599
5	4,612	22,274	44,92	128,98	131,63	149,60	143,235
6	4,114	28,092	35,607	102,27	104,38	118,62	113,564
7	3,657	35,406	28,26	80,992	82,673	94,08	90,069
8	3,251	44,651	22,41	64,326	65,651	74,61	71,424
9	2,895	56,328	17,76	51,010	51,775	59,18	56,648
10	2,590	71,017	14,077	40,444	41,277	49,92	44,708
11	2,311	89,537	11,167	32,081	32,751	37,215	35,623
12	2,057	112,803	8,863	25,445	25,980	29,507	28,257
13	1,828	142,370	7,002	20,177	20,594	23,406	22,409
14	1,625	179,538	5,570	15,996	16,338	18,555	17,767
15	1,447	226,417	4,419	12,687	12,952	14,716	14,088
16	1,295	285,47	3,505	10,0604	10,027	11,670	11,172
17	1,143	359,94	2,780	7,979	8,145	9,255	8,861
18	1,016	454,05	2,204	6,327	6,461	7,340	7,048
19	0,914	572,40	1,747	5,0175	5,123	5,821	5,587
20	0,812	721,80	1,386	3,976	4,062	4,616	4,419
21	0,711	910,32	1,099	3,156	3,222	3,6605	3,504
22	0,635	1 147,74	0,872	2,503	2,555	2,9031	2,780
23	0,571	1 448,24	0,691	1,9835	2,025	2,3019	2,204
24	0,508	1 825,09	0,548	1,574	1,607	1,8258	1,748
25	0,457	2 301,37	0,435	1,248	1,274	1,4480	1,386
26	0,406	2 901,55	0,345	0,9928	1,0105	1,1481	1,099
27	0,355	3 660,14	0,2735	0,7851	0,8013	0,9107	0,872
28	0,330	4 615,38	0,217	0,6224	0,6354	0,7221	0,691
29	0,287	5 845,08	0,172	0,4936	0,5038	0,5727	0,548
30	0,255	7 336,22	0,1365	0,3915	0,3997	0,4531	0,435
31	0,226	9 248,60	0,108	0,3105	0,317	0,3602	0,345
32	0,202	11 666,66	0,0858	0,2463	0,252	0,2855	0,273
33	0,180	14 707,86	0,068	0,1952	0,1994	0,2265	0,217
34	0,160	18 553,32	0,0539	0,15575	0,158	0,1796	0,172
35	0,142	23 390,51	0,0427	0,1228	0,1253	0,1424	0,136
36	0,127	29 486,62	0,0339	0,0975	0,0994	0,1129	0,1082
37	0,116	37 188,75	0,0269	0,0772	0,0789	0,0896	0,08586
38	0,101	46 894,65	0,02135	0,0615	0,0625	0,0711	0,0680
39	0,0896	59 154,95	0,0170	0,0485	0,0498	0,0564	0,0540
40	0,080	74 658,63	0,0134	0,0385	0,0393	0,0446	0,0427
Poids spécifique			2,68	7,698	7,858	8,930	8,549

Digitized by Google

VI. — *Table des résistances du fil d'aluminium pur* (1).

L'aluminium pur pèse 2 675,5 kg le mètre cube. — La conductibilité de l'aluminium pur, vaut 60 p. 100 de la conductibilité du cuivre pur.

N° de la JAUGE Brown et Sharpe	RÉSISTANCE en ohms par kg.	MÈTRES par ohm.	OHMS par kg.
0000	0,26829	3 727,643	0,0009397
000	0,33827	2 956,255	0,0014745
00	0,42657	2 344,522	0,0023785
0	0,53759	1 903,598	0,0036826
1	0,67825	1 413,464	0,0059998
2	0,85559	1 169,280	0,0093564
3	1,07853	925,410	0,0151925
4	1,35991	735,360	0,0241501
5	1,71491	583,150	0,0384032
6	2,16251	462,450	0,0610676
7	2,72710	366,710	0,0971036
8	3,50417	293,880	0,1543938
9	4,33535	230,665	0,2454342
10	5,46834	182,880	0,374274
11	6,89404	145,057	0,620642
12	8,69367	115,035	0,986832
13	10,96248	91,226	1,572516
14	14,16736	70,586	2,556950
15	17,03397	58,708	3,872000
16	21,97712	45,5023	6,30674
17	27,71526	36,0822	10,02936
18	34,94856	28,6152	15,9478
19	45,32636	22,0626	26,82152
20	55,57358	17,9955	40,3216
21	70,07560	14,2714	64,1124
22	88,32452	11,3222	101,8952
23	111,3965	8,9770	162,1092
24	140,5088	7,1173	257,774
25	177,1740	5,6441	409,816
26	223,4788	4,4749	651,904
27	281,7231	3,5497	1 068,232
28	355,2568	2,8151	1 647,844
29	447,9713	2,2324	2 640,134
30	564,8898	1,7705	4 166,58
31	695,9657	1,4369	6 471,30
32	898,8956	1,1134	10 535,58
33	1 132,3715	0,8831	16 743,54
34	1 428,4818	0,7001	26 640,28
35	1 801,0065	0,5553	43 352,2
36	2 270,682	0,4404	67 320 »
37	2 864,083	0,3492	107 054,2
38	3 611,134	0,2769	168 647,6
39	4 552,290	0,2197	268 138,2
40	5 740,110	0,1742	436 437 »

(1) Calculée sur la base de l'étalon de Matthiesen : savoir 1 km de fil de cuivre pur de 1,5875 mm (1/16 de pouce) de diamètre a une résistance de 13,59 ohms à 15°,5 C. — La table se rapporte à 24° C.

VII. — *Table des diamètres, poids et résistance des cables d'aluminium.*

Conductibilité 62, à l'échelle de Matthiesen.

NUMÉRO de jauge B et S.	DIAMÈTRE en mm.	POIDS EN KG PAR KM		RÉSISTANCE en ohms par km à 24° C.
		Nu.	Isolé : 3 guipages.	
.....	29,26	1 369	2 095	0,05496
.....	28,575	1 300,500	1 994	0,05784
.....	27,737	1 232,050	1 889,750	0,06106
.....	26,975	1 163,600	1 788,575	0,06460
.....	26,290	1 095,170	1 688,880	0,06864
.....	25,375	1 026,720	1 587,700	0,07323
.....	24,460	958,270	1 489,490	0,07848
.....	23,545	889,825	1 395,750	0,08449
.....	22,631	821,375	1 306,460	0,09151
.....	21,717	752,930	1 199,330	0,09987
.....	20,806	684,480	1 101,120	0,10982
.....	19,514	616,030	989,520	0,12205
.....	18,451	547,585	843,695	0,13728
.....	17,243	479,135	746,975	0,15690
.....	16,002	410,690	648,870	0,18308
.....	14,986	342,240	558	0,21976
0000	13,462	290,160	416,640	0,25960
000	11,934	230,640	345,215	0,32672
00	10,668	183,025	285,695	0,41219
0	9,521	144,335	230,640	0,51971
1	8,382	114,575	196,415	0,65751
2	7,391	90,770	150,700	0,82517
3	6,629	72,170	130,945	1,04401
4	5,867	57,290	107,135	1,31604

VIII. — *Table des poids de fils d'aluminium isolés.*

NUMÉRO DE JAUGE B et S	TRIPLE GUIPAGE Poids par km.	DOUBLE GUIPAGE Poids par km.
0000	422,60	395,81
000	348,20	324,38
00	290,16	251,47
0	241,06	188,98
1	194,93	153,26
2	163,68	133,92
3	132,43	110,11
4	107,14	92,256
5	93,745	81,840
6	83,33	66,960
8	55,056	52,080
10	43,152	34,224
12	28,272	23,808
14	23,808	16,368
16	14,880	11,904
18	11,904	10,416

Digitized by Google

Les conducteurs d'aluminium et de cuivre coûteront donc le même prix par kilomètre, si le prix du kilogramme de cuivre est 47,77 p. 100 du prix du kilogramme d'aluminium.

La résistance à la traction de l'aluminium pur commercial (98,50 p. 100) est moindre que celle de l'aluminium allié avec une faible quantité d'un autre métal. L'aluminium pur commercial a une conductibilité de 63 p. 100 à l'échelle de Matthiesen ; cette conductibilité est réduite à 58 p. 100 pour un alliage à 1 p. 100, à 54 pour un alliage à 2 p. 100.

Quand on emploie l'aluminium pour faire des barres omnibus de station centrale, la question de résistance mécanique n'intervient pas et on peut employer l'aluminium pur. Des barres étirées de 25 mm $\times$ 152 mm peuvent atteindre une longueur de 4,25 m ; des barres de 12 $\times$ 100 mm peuvent atteindre 7,90 m et des barres de plus faible section peuvent être obtenues un peu plus longues.

Pour des transports de force il n'est pas opportun de se servir d'aluminium de moins de 59 p. 100 de conductibilité.

Pour le fil téléphonique, on réduit un peu la conductibilité afin de gagner sur la résistance à la traction (table III).

La soudure du fil n'est pas à recommander. Des fils de faible diamètre peuvent être reliés en tortillant leurs extrémités l'une avec l'autre, comme on fait d'ordinaire dans les canalisations télégraphiques ou téléphoniques. On fait aussi des joints avec des manchons ou avec des tubes ou encore avec des feuilles de métal enroulées ; ces procédés donnent satisfaction pour les fils de gros diamètre dont on ne peut tortiller les extrémités. Pour les câbles, on soude les bouts dans un manchon de bronze ou d'aluminium, comme avec des câbles de cuivre (1).

Il est bon de ne pas se servir de fil trop dur pour attacher la ligne aux isolateurs, car il en résulterait une dentelure du conducteur au droit des points d'attache, et le conducteur se romprait en ces points de moindre résistance.

Le coefficient de dilatation de l'aluminium est de 0,0000 231 ; donc, si on tend une ligne aux températures ordinaires, il faut prévoir qu'une légère augmentation de flèche pourra se produire.

Il faut noter que le poids de la neige et de la glace est pratiquement le même sur les fils, qu'ils soient de faible ou de forte section.

L'air sec n'agit pas sur l'aluminium : l'air humide favorise la formation d'une gaine d'alumine extrêmement protectrice, parce qu'elle résiste aux agents acides et atmosphériques. Les gaz acides de nature sulfureuse qui s'échappent des foyers des locomotives sont sans action sur l'aluminium (2).

La self-induction d'un circuit est moindre avec un gros fil qu'avec des fils fins ; et elle est minima quand les conducteurs sont contigus. Si les fils sont à la même distance dans une ligne en aluminium et dans une ligne en cuivre, la self-induction sera moindre pour la première mais, en somme, la différence est petite. Si la distance entre les fils d'une ligne en aluminium est 25 p. 100 plus grande que celle entre les fils de la ligne en cuivre correspondante, la self-induction est la même dans les deux cas.

On sait que la densité d'un courant alternatif n'est pas constante dans la section d'un conducteur, elle est maxima vers la surface : l'accroissement de densité dans des fils de dia-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 628, 18 novembre 1899.

(2) Au point de vue de la résistance de l'aluminium aux agents chimiques, il faut citer les travaux de M. Ditte et M. Moissan : *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 5 décembre 1898, 23 janvier, 27 mars, 10 et 17 avril 1899.

Digitized by Google

mètre inférieur à 11 ou 18 mm est si faible qu'on peut ne pas en tenir compte ; il est le même que pour un conducteur de cuivre de même conductibilité.

A cause de la valeur de la surface extérieure, une ligne de cuivre chauffe plus que la ligne d'aluminium de même conductibilité : or l'augmentation de température accroît la résistance, de sorte que si le conducteur de cuivre était de même résistance que le conducteur d'aluminium lorsque la ligne ne portait pas de courant, la résistance du premier est plus grande quand la ligne travaille.

La capacité d'un circuit est plus grande avec de gros fils qu'avec des fils fins, le courant de charge d'un circuit d'aluminium est par conséquent plus considérable que celui du circuit de cuivre correspondant; si, dans les deux cas, la distance entre les fils est la même, l'augmentation est d'environ 10 p. 100.

La surface extérieure dont la grandeur était avantageuse au point de vue de l'échauffement du conducteur d'aluminium est un peu nuisible quand il s'agit d'isoler le fil; le conducteur en aluminium nécessite 17,5 p. 100 d'isolant de plus que le conducteur de cuivre équivalent; cependant avec des isolants de bonne qualité, l'aluminium couvert est encore plus léger que le cuivre couvert.

La « Hartford Electric Co. » va employer l'aluminium pour transmettre 10 000 volts à 17, 5 km par courants triphasés. Elle doit se servir de câbles à 7 brins, chaque brin étant composé de 7 fils n° 11 de la jauge B et S. On gagnera ainsi près de 18 000 fr sur le prix que coûterait la même ligne en cuivre.

La ligne de Snoqualmie Falls, de 54 km de longueur, transporte 12 000 chevaux à l'aide d'un conducteur composé de 98,5 p. 100 d'aluminium et de 1,5 p. 100 de cuivre, ce dernier métal étant ajouté afin de permettre des espacements de poteaux de 40 m.

On a essayé avec succès l'aluminium pour les canalisations téléphoniques à New-York [1].

JACQUES GUILLAUME.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ [2]

Nos lecteurs savent combien sont importantes et variées les applications de l'électricité à l'art des mines pour la commande des machines : pompes, treuils, perforatrices, roulage, ventilation, sans compter la mise en feu des explosifs et l'éclairage. Ces applications, comme d'ailleurs presque toutes celles de l'électricité, ne font que s'accroître et se diversifier de plus en plus ; elles sont, en effet, partout des plus utiles et commodes par la souplesse et la sécurité de l'énergie qui les anime et parfois indispensables pour utiliser par exemple la puissance presque gratuite d'une chute d'eau, ou même, en des régions montagneuses où le siège de la mine est d'un accès soit difficile soit même inaccessible en hiver, la puissance d'une station centrale de machines à vapeur ou à gaz où le combustible arrive facilement et à coup sûr en tout temps. C'est un cas assez fréquent aux États-Unis. Aussi, est-ce dans de pareilles régions que ces applications de l'électricité se sont développées avec le plus de grandeur et de hardiesse, rendant faciles et profitables bien des exploitations auparavant stériles.

(1) Il ne semble pas que les ingénieurs télégraphistes français aient obtenu d'aussi bons résultats. (Voir *L'Éclairage Électrique*, du 27 janvier 1900, t. XXII, p. 140.)

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 361, 9 décembre 1899.

Digitized by Google

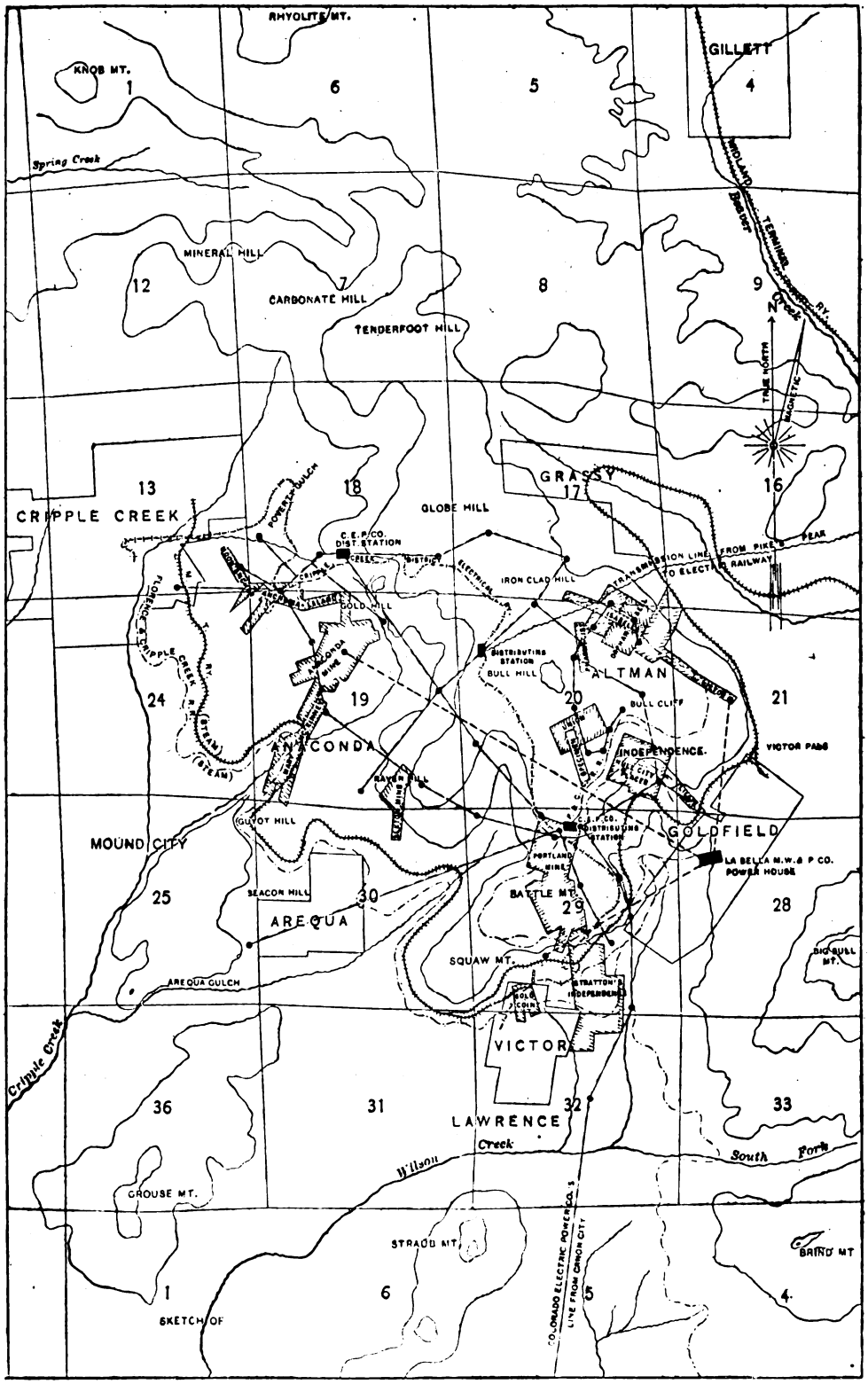


Fig. 1. — Carte du district de Crippte Creek.

***

Digitized by Google

Parmi ces régions minières américaines, l'une des plus intéressantes est celle de Cripple Creek. C'est comme l'a dit M. T. Tonge (1) le seul district aurifère où le mineur puisse « se rendre à sa mine dans un car électrique, y descendre par un treuil électrique, l'assécher par une pompe électrique, s'y éclairer à l'électricité, actionner ses perforatrices au moyen d'air comprimé fourni par des compresseurs électriques, et allumer à distance ses trous de mine par l'électricité ».

Le district de Cripple Creek, de 9 300 hectares environ, est à une altitude moyenne de 2 750 m, et renferme 150 sièges de mines d'or dont 50 produisent environ 1 000 tonnes de minerai par mois : sa production en or est évaluée pour 1898, à 70 millions.

Sa population, nulle en 1891, est aujourd'hui de 50 000 habitants. En raison des difficultés du terrain très accidenté, les voies ferrées ordinaires ne font que le tour du district; l'intérieur est desservi par un tramway électrique qui, partant de la ville de Cripple Creek, à 2 850 m d'altitude, traverse (fig. 1) en un tracé sinueux le centre du district, jusqu'à Victor (altitude 2 855) sur une longueur d'environ 9 600 m. Le trajet dure environ une heure. L'électricité lui est fournie, à peu près au milieu de son parcours, à Bull Hill, par l'usine du lac Moraine, situé à une altitude de 3 400 m à Pikes-Peak, distant de 14 500 m.

La mine de charbon la plus proche de Cripple Creek, celle de Canon City en est à 48 km, et à l'altitude de 1 500 m; en outre, le district est presque sans eau, de sorte qu'il fallait, avec les machines à vapeur, y amener l'eau et le charbon à des prix excessifs et parfois prohibitifs et que l'emploi de l'électricité s'imposait presque. C'est en 1888 que l'on installa au tunnel d'Aspen, Colorado, le premier treuil électrique pour mines. Actuellement, la puissance électrique distribuée à Aspen, employée à tous usages, est fournie par une chute d'eau qui dépasse 700 chevaux, et fonctionne avec un succès qui décida les mineurs de Cripple Creek et bien d'autres du Colorado à recourir aussi à l'électricité.

A Cripple Creek, on compte deux grandes stations électriques : celle de la Colorado Electric Power C°, à Canon City, à 40 km environ au sud de Cripple Creek, et celle de la Bella Mill Waton C°, à Goldfield, dans le district même de Cripple Creek, alimentées chacune par du charbon de Canon City; mais, tandis que la station de Colorado brûle le charbon sur la houillère et transporte l'électricité à 44 km aux mines d'or, celle de Bella se fait apporter le charbon et produit l'électricité aux mines mêmes, créant ainsi une concurrence entre le vieux système du transport du charbon et celui du transport de l'énergie électrique.

La station de Colorado, complétée en août 1898, a une puissance de 220 chevaux, fournie à 500 volts, transformée à 20 000, et transportée à 44 km à Cripple-Creek par trois fils de 67 mm en cuivre nu, disposés en triangle sur des poteaux de 9 m de haut. A Cripple-Creek, il y a deux sous-stations distributrices : à Gold Hill et à Battle Mountain, où le voltage est rabaissé de 20 000 à 500 volts. Elles ont 70 abonnés, pour 2 100 chevaux environ, aux mines et aux travaux extérieurs de préparation aurifère, etc. Aux petits concessionnaires, la compagnie loue pour 250, 325 et 1 000 fr par mois des treuils de 5, 15 et 30 chevaux qui leur permettent de tenter la fortune bien qu'ils n'aient pas le capital nécessaire pour l'achat de ces treuils : elle a pour 300 000 fr de machines ainsi en location, à des prix proportionnels à la puissance du moteur et au débit du puits.

La station de la Bella fournit actuellement 3 000 chevaux, dont 2 250 à l'électricité et 750 en air comprimé distribués à différentes mines par une canalisation de 16 km. Comme

(1) *Engineering Magasine*, septembre 1899.

Digitized by Google

cette station se trouve à 3 000 m d'altitude, l'eau y est très rare : on l'économise le plus possible par l'emploi de tourelles de refroidissement pour l'eau de condensation. Le courant triphasé est envoyé sous 6 600 volts aux mines, où il est transformé à 110 volts pour l'éclairage et à 440 pour les moteurs. L'un des treuils ainsi actionné par l'électricité est de 300 chevaux; la perte d'énergie de la station à ce treuil, distance 1 600 m, est de 2 p. 100.

On estime qu'à Cripple-Creck, le remplacement de la vapeur par l'électricité a permis de réaliser une économie de 15 à 50 p. 100 suivant les cas.

Parmi les machines à la conduite desquelles on peut appliquer avec succès l'électricité, il faut citer au premier rang les *presses d'imprimerie*, que les dynamos débarrassent de tout l'attirail encombrant des transmissions souvent dangereuses pour les servants des presses; d'après M. Tapley, chef électricien du Governement Printing Office de Washington, à qui nous empruntons les renseignements qui vont suivre, « l'application de l'électricité aux presses à imprimer a procuré comme économie, amélioration et augmentation du travail, des avantages tels que, pour toute grande imprimerie elle s'impose non comme besoin mais comme une nécessité (1) ».

Dans cette application, comme presque partout d'ailleurs, ce sont les moteurs compound qui donnent les meilleurs résultats à cause de leur démarrage puissant, de leur vitesse presque invariable et de leur facilité de changement de marche — fréquents dans la conduite des presses — avec le moins possible d'étincelles aux balais. Il faut un moteur robuste, capable de supporter des arrêts fréquents, des démarrages brusques et des variations de travail très considérables, et d'un bon rendement en marche aux 70 p. 100 de sa puissance maxima : il ne faut jamais hésiter à prendre un moteur plutôt trop fort et attaquant la presse soit directement soit par un train d'engrenages et non par courroies. Comme l'arbre de tête de ces presses fait de 90 à 175 tours par minute, les moteurs à trains d'engrenages ne doivent guère marcher à plus de 1 000 tours pour les petites forces — jusqu'à un cheval — et à 500 et moins pour les grandes forces, jusqu'à 15 chevaux. Les moteurs directs, avec armature calée sur l'arbre de la presse, exigent des types spéciaux, inutilisables si l'on remplace la presse par une autre, et qui ne peuvent pas, en cas d'avarie, être immédiatement remplacés ; en outre, leur prix est plus élevé de 25 à 33 p. 100 que celui des moteurs à engrenages. Le voltage ne doit pas dépasser 230 volts pour la sécurité du personnel.

Le moteur doit être fixé à la presse même et non pas sur une fondation séparée, pour éviter tout danger de chocs dans les engrenages ou de désaxement de l'armature, et à partir d'une certaine puissance, 5 chevaux environ, la dynamo doit être, en outre, ancrée sur un prolongement de la maçonnerie de la presse. Les pignons doivent être alternativement en cuir et fonte, et les roues en cuir avec plateaux en bronze débordant les dentures. Ces dernières doivent être plutôt fines, par exemple au pas diamétral de 4, c'est-à-dire de 4 dents par pouce du diamètre primitif, soit un pas circulaire de 20 mm.

Les fils doivent être parfaitement isolés, à l'abri de l'huile et non pas suspendus au plafond, ce qui est dangereux et gênant, bien protégés par une garniture métallique et encaissés dans les fondations. Le commutateur doit être bien à la portée du mécanicien seul et abrité des chocs et des poussières, car le contrôle de la presse doit être principalement pour la mise en train, tout à fait rigoureux : on y arrive simplement par l'introduction de résistances dans le circuit de l'armature, mode de réglage qui, d'après l'expérience de l'auteur, n'est pas dispendieux en pratique. Le commutateur régulateur ne doit avoir qu'une seule

(1) *Journal of the Franklin Institute*, octobre 1899.

Digitized by Google

manette pour éviter toute confusion dans les moments de presse, et à contacts larges : 20 mm² environ par ampère, pour éviter tout danger d'échauffement, et avec, si possible, aucun mécanisme automatique toujours sujet aux dérangements. En outre, il faut y ajouter un bon coupe-circuit automatique, rompant en cas de danger ou d'efforts excessifs, ce qui réduit en moyenne de près de moitié les avaries.

Quant à l'économie que procure le remplacement des transmissions mécaniques par

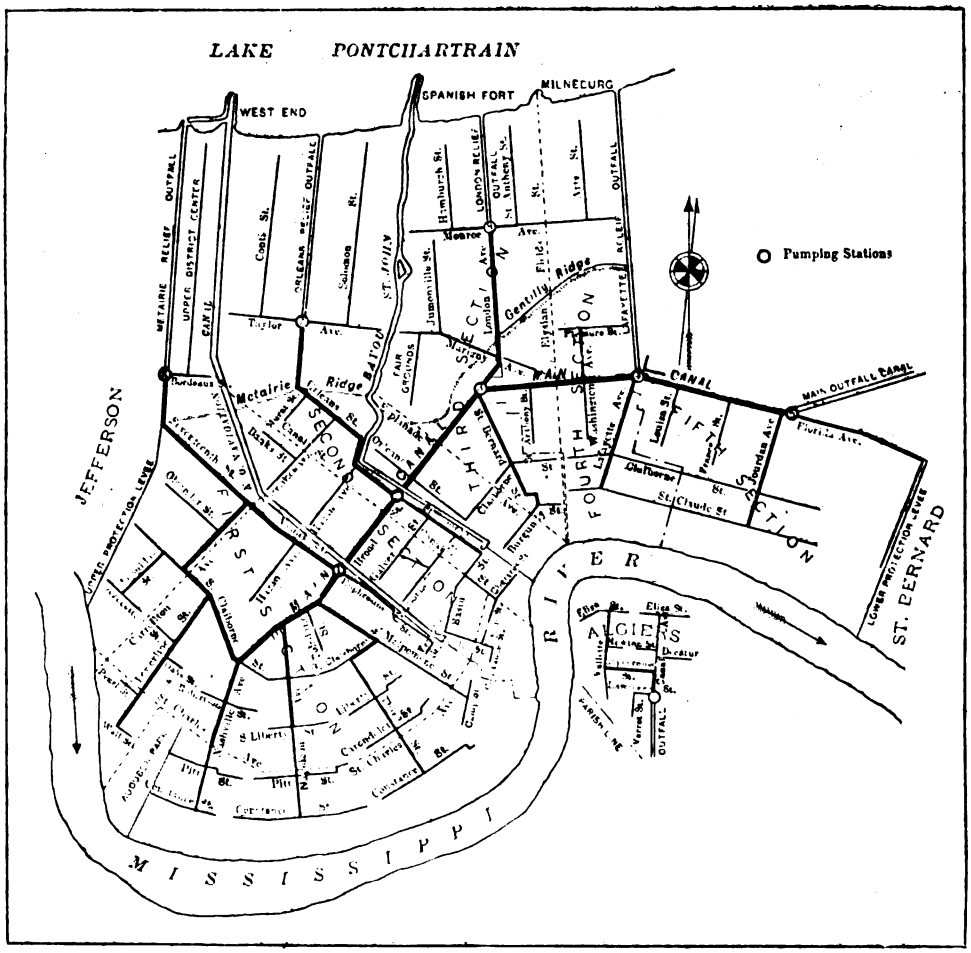


Fig. 2. — Plan de la Nouvelle-Orléans.

l'électricité dans les imprimeries, elle varie évidemment du tout au tout suivant les cas, mais elle atteint souvent 15 à 20 p. 100. A partir de 15 à 20 chevaux les dynamos directes sont plus économiques que celles à engrenages. Voici quelques exemples. Une presse continue faisant 6 000 impressions par jour, ou 2 604 000 pages in-16, soit 384 000 par heure, donne 91 428 pages par kilowatt-heure ou, à 5 sous le kilowatt-heure, 18 285 pages pour un sou. Une presse à plaques de 1,25 m × 1,60, donnant 20 impressions de 32 pages par minute, ou 4,266 pages par kilowatt-heure, exige à production égale 4 et 5 fois plus de puissance. Au Government Printing Office de Washington, 49 presses, dont 3 grosses rotatives, exigent environ 190 chevaux et impriment environ 2 000 pages pour un sou. L'emploi de l'électricité en a augmenté le débit de 15 p. 100, ce qui, dans un atelier de 100 presses, gagnant chaque jour 50 fr, soit en tout 1 500 000 fr par année de 300 jours, procurait un

Digitized by Google

bénéfice de 425 000 fr, capable d'amortir bien vite la dépense de l'installation électrique.

Les commandes par l'électricité sont tout indiquées et fréquemment employées pour les *pompes*, notamment pour les pompes centrifuges ; comme exemple d'une grande instal-

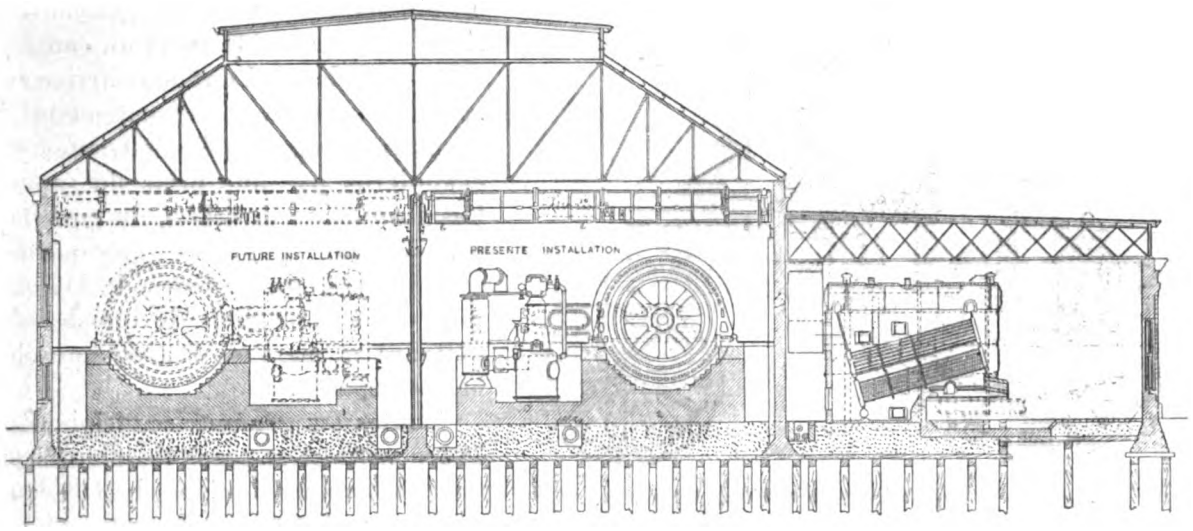


Fig. 3. — Station génératrice du drainage de la Nouvelle-Orléans.

lation de ce genre, je citerai celle des égouts de la Nouvelle-Orléans desservis par sept sous-stations dont cinq disposées sur le canal collecteur, *Main* Canal, comme l'indique le plan figure 2, et trois les nos 5, 6, et 7 sur des branchements amenant les eaux de ce canal au lac Pontchartrain. Toutes ces sous-stations sont alimentées d'électricité par une station génératrice centrale installée près du n° 4. Actuellement cette station ne dessert que les postes nos 2, 6 et 7, qui exigent une puissance maxima de 1 785 chevaux. Tout l'ensemble quand il sera terminé en exigera environ 5 000 et ce dans des conditions très variables, suivant l'époque de l'année et avec les orages très violents de la région.

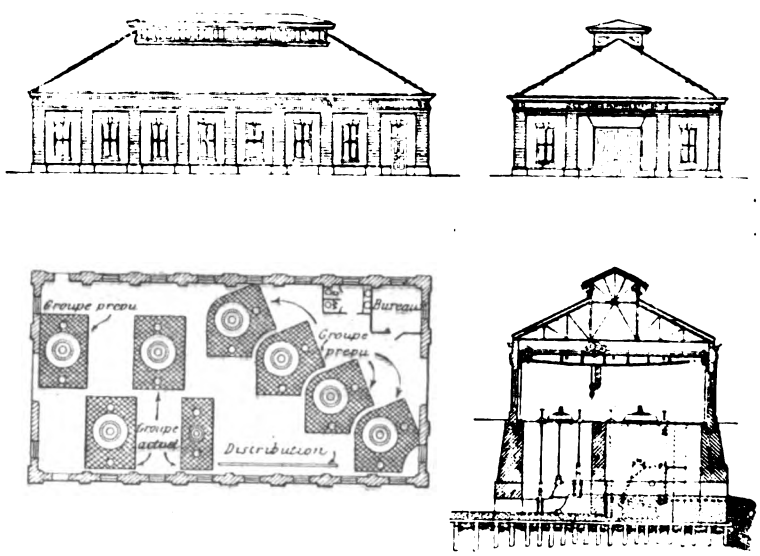


Fig. 4. — Station réceptrice du drainage de la Nouvelle Orléans.

La station centrale comprend (fig. 3) une salle des machines de 54 × 27 m et une salle des chaudières de 55 × 13,50 m, desservie par deux ponts roulants de 10 tonnes. Les machines et chaudières déjà installées sont indiquées en traits pleins, les autres prévues en traits pointillés. Les machines actuellement installées, du type compound horizontal Allis, comprennent trois machines de 1 000 chevaux, actionnant chacune une dynamo triphasée de 750 kilowatts à 94 tours,

Digitized by Google

une de 500 chevaux, à 107 tours, avec dynamo de 375 kilowatts, deux de 125 chevaux avec dynamos de 75 kilowatts. Les condenseurs et réchauffeurs sont, pour les grandes machines, disposés entre les cylindres de haute et de basse pression. L'eau condensée traverse un serpentin qui réchauffe la vapeur d'échappement des grands cylindres, et l'eau de circulation revient au condenseur après s'être refroidie dans un canal de 1 600 m de long. La vapeur arrive aux machines par un grand collecteur de 48 m de long, relié à chacune des chaudières par une prise de vapeur. Les chaudières actuelles, du type Babcock-Wilcox à grilles mécaniques, comprennent six batteries de 355 chevaux chacune et deux de 100 chevaux toujours en marche, et avec une cheminée séparée.

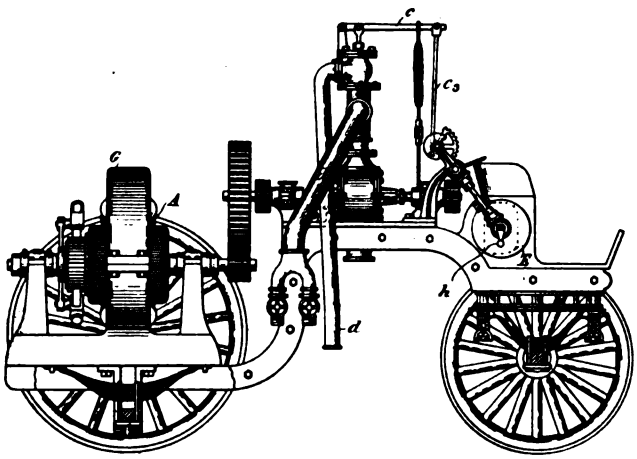


Fig. 5. — Pompe à incendie Whiting. Élévation.

Toutes les génératrices triphasées, à 3 300 volts et en parallèle aboutissent aux collecteurs doubles du tableau à panneaux divisés en deux sections : l'un pour les courants de haute tension, l'autre pour les circuits d'excitation.

Le courant est amené aux stations réceptrices par des fils sur poteaux en bois de 10,50 m avec une perte d'environ 7 p. 100.

Les stations réceptrices sont du type général représenté par la figure 4 avec pont électrique de 5 tonnes, pompes centrifuges commandées directement par des dynamos triphasées synchrones, dont l'induit est calé sur l'arbre vertical des pompes. La station n° 2 comprend une pompe principale de 40 chevaux à 214 tours par minute, levant par seconde, 1,13 m³ d'eau à 1,50 m, deux pompes de 125 chevaux à 167 tours pouvant lever par seconde 15 m³ d'eau à 0,95 m, et une pompe à pistons actionnée par une petite dynamo et destinée à vider les puits des pompes centrifuges pour leur mise en train. Enfin les vannes sont commandées par quatre dynamos de 10 chevaux à 125 volts.

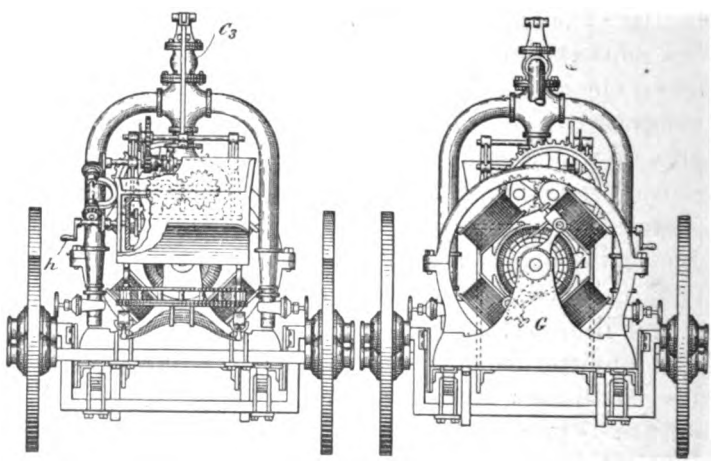


Fig. 6. — Pompe à incendies Whiting, vue par bout.

On estime le rendement total du système à 50 ou 60 p. 100 de la puissance développée à la station génératrice, et que le système présente au point de vue de la commodité, de la simplicité et de la souplesse de sa conduite des avantages très importants, d'ailleurs presque évidents à priori, en comparaison d'un système composé d'autant de petites usines à vapeur que de stations électriques en communication immédiate avec la station centrale (1).

(1) *Electrical World*, 18 novembre 1899.

Digitized by Google

Les pompes à incendie peuvent facilement trouver dans les distributions urbaines d'électricité une puissance motrice très commode et toujours prête : on peut ainsi réaliser des pompes très légères bien plus puissantes et faciles à manier que les pompes à vapeur ; telle est par exemple la pompe de M. H. Whiting (fig. 5) du type rotatif D, actionnée directement par une dynamo AG, qui reçoit son courant d'une boîte de réglage E, à manette h. Cette manette est reliée par une transmission g (fig. 7) à l'embrayage c_{13} qui, lorsqu'il est fait, la relie par $c_6 c_7 c_3$, au levier c, dont le ressort c_4 charge la soupape de sûreté c de la pompe. Quand la pression augmente trop au refoulement D, cette soupape se lève et laisse une partie de l'eau s'évacuer au trop plein d, en même temps qu'elle intercale par c_3 des résistances en E, ou même, si l'accroissement de pression est trop violent, supprime le courant. Un taquet c_{10}, venant buter sur c_8,

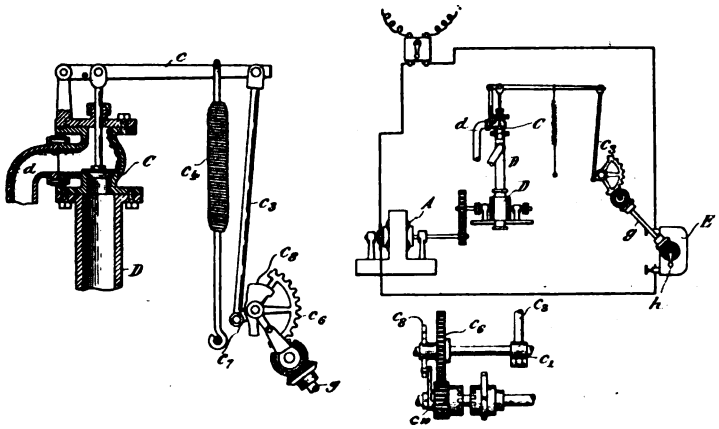


Fig. 7. — Pompe à incendies Whiting. Détail du réglage (1899).

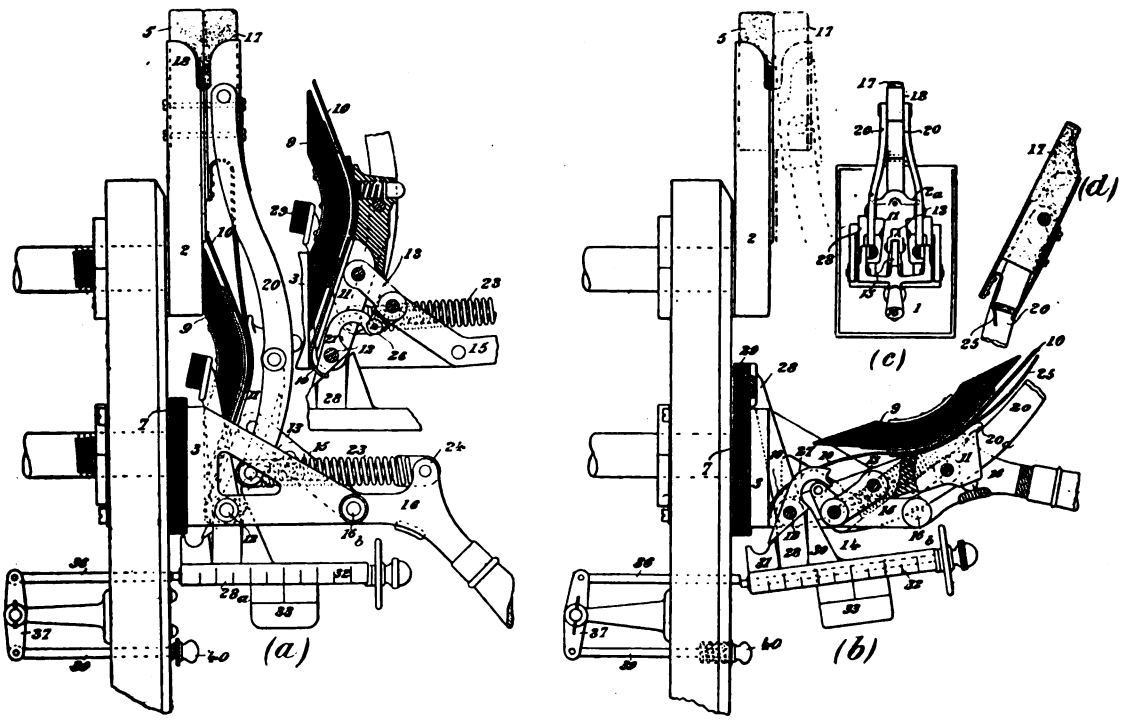


Fig. 8 et 9. — Coupe-circuit automatique Wright et Aalborg (1899).

limite la rotation de c_{13} à ce qu'il faut pour cette rupture, et il suffit de débrayer c_{13} pour pouvoir manœuvrer h à la main.

Presque toutes les applications de l'électricité comportent l'emploi de *coupe-circuits automatiques* rompant le courant quand son intensité dépasse une limite préalablement

Digitized by Google

fixée ; l'appareil de MM. Wright et Aalborg, ingénieurs de la compagnie Westinghouse est (fig. 8 et 9) l'un des mieux adaptés aux usages industriels ; voici comment il fonctionne.

Quand le circuit est ouvert (fig. 9) les deux bras 20, qui portent le contact lamellaire 9, sont appuyés par le ressort 23 sur les taquets 20_c du châssis 11. Pour le fermer, on abaisse le levier 16_a, qui, pivotant autour de 16_b, redresse le genou 15-13 et soulève les bras 20. Ce mouvement a pour effet de fermer par les contacts à charbons 17-5, 25 et la lame 10 le circuit de dérivation, puis le courant principal par 2, 9, 3. A la fin de ce mouvement, le châssis 20, 32, à contrepoids 33, réglable par 35, et basculant autour de 12, repousse par 31 le cliquet 27 qui, ainsi, maintient par le galet 26 le genou dans sa position de fermeture.

Si maintenant l'intensité du courant dépasse la valeur fixée par la position du poids 33 sur la glissière 32, l'électro-aimant constitué par l'enroulement 7 autour de 3 attire son armature 29 dans la position figure 9 où le taquet 30 de 28, repoussant 27 le déclenche du galet 26, ce qui permet au ressort 23 de ramener le genou et le contact 9 dans la position figure 9, rompant le circuit d'abord en 17 puis en 9, de manière à éviter les étincelles. Un bouton 40 permet d'opérer à la main ce déclenchement par 39, 37, 36.

G. Richard.

ACCUMULATEURS POUR AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

LE CONCOURS INTERNATIONAL DE L'AUTOMOBILE CLUB (1)

8-Q. — Accumulateur Lagarde

Plaques. — Les plaques (fig. 17 et 18) sont toutes du type à pastilles maintenues par une grille en plomb antimonié à 10 p. 100.

Le support des plaques positives et négatives est formé d'un cadre renforcé par deux croisillons à angle droit servant à assurer sa rigidité et à faciliter la répartition du courant : on voit sur la droite de la figure une partie de la séparation verticale. Ces croisillons partagent la plaque en 4 panneaux divisés chacun en 88 cellules carrées ayant 8×8 mm. La section du cadre est de 25 mm² environ, celle des séparations est de 10 mm² environ et celle des cloisons formant les cellules de 4 mm² environ. Ces cloisons sont par suite noyées dans l'empâtage dont émergent les croisillons.

La queue de connexion est venue de fonte avec le cadre et se trouve placée à environ 3 cm de l'extrémité. La section des cloisons des cellules est en forme de losange dont les arêtes servent à retenir les pastilles de matière active. L'empâtage n'a rien de particulier en apparence. Il ne comporte aucun trou pour faciliter la circulation de l'électrolyte. Il ne laisse apparent que le cadre extérieur.

Montage. — La liaison des plaques entre elles s'effectue à l'aide d'une barre de plomb antimonié à laquelle sont soudées les queues. Cette barre de connexion porte elle-même une tige qui sort de la boîte.

Au montage, les plaques positives sur lesquelles la chute de matière active est particulièrement à redouter sont enveloppées dans une feuille de papier parcheminé, puis recouvertes d'un sac en fil de caoutchouc qui sert à la fois à prévenir cette chute et à isoler les plaques entre elles.

Les négatives sont nues.

Digitized by Google

Les plaques positives et négatives sont serrées les unes contre les autres de façon à réduire au minimum l'intervalle qui les sépare.

Électrolyte. — La quantité d'électrolyte que peut contenir le bac dont les dimensions sont juste suffisantes pour loger le bloc formé par la réunion des 13 plaques est inférieure au poids théoriquement nécessaire. Le poids de SO^4H^2 à la densité admise de 1,274 fin de charge est de 360 gr.

Bac. — Tous les soins de l'inventeur se sont attachés à rendre le vase étanche ; à cet effet, sa boîte est fermée par un couvercle qui vient reposer sur un épaulement intérieur

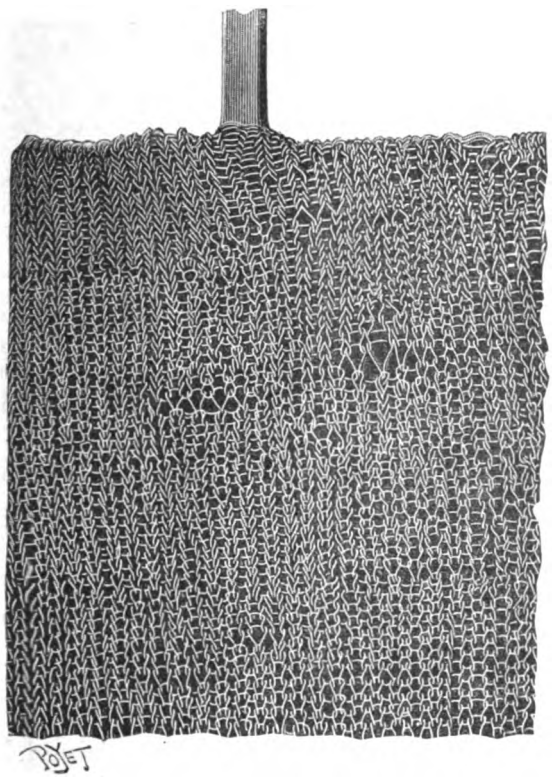


Fig. 17. — Plaque positive.

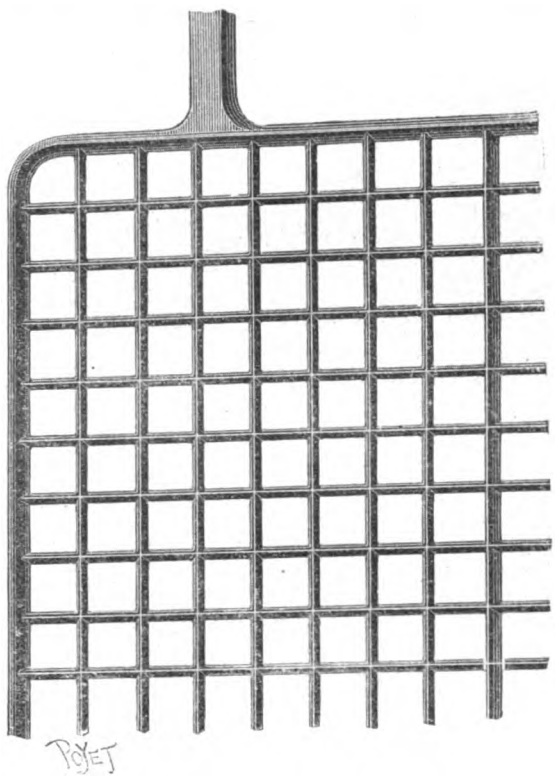


Fig. 18. — Support.

des parois du bac ; ce couvercle porte une encoche sur tout son pourtour dans laquelle on loge une bande de caoutchouc qui est assujettie par un cadre qui comprime cette bande contre le couvercle et la paroi du bac ; ce cadre est maintenu par des chevilles isolantes.

Les tiges de connexion traversent le couvercle d'ébonite par des trous taraudés sur chacun desquels se visse une pièce d'ébonite dont la partie inférieure est garnie de caoutchouc ; ce caoutchouc vient faire joint autour de la base de la tige. Ces pièces d'ébonite portent un évidement latéral par lequel on peut passer une barrette de laiton qui sert de prise de courant. Cette barrette pénètre dans un trou ménagé sur la tige de connexion, le tout est bloqué ensemble à l'aide de 2 écrous. Après que ce travail est fait, on coule de la paraffine dans la douille d'ébonite et on ferme cette douille par un chapeau taraudé.

Le couvercle porte en outre un troisième bouchon analogue en 2 pièces avec joint de caoutchouc que l'on dévisse au moment de la charge pour l'évacuation des gaz.

Ce procédé évidemment ingénieux rend le démontage très pénible.

....

Digitized by Google

Le tableau suivant indique les données caractéristiques de cet accumulateur.

Plaques positives.	
Nombre	6
Dimensions en cm :	
Hauteur	20
Largeur	15,5
Épaisseur	0,6
Poids en kg	1,080
Poids du support en kg	0,220
Poids de la matière active en kg	0,860
Plaques négatives.	
Nombre	7
Dimensions en cm :	
Hauteur	20
Largeur	15,5
Épaisseur	0,5
— des plaques extrêmes	0,4
Poids en kg	0,950
Poids du support en kg	0,185
Poids de la matière active en kg	0,765
Bac.	
Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	28
Longueur	16
Largeur	11
Poids en kg	1,500
Électrolyte.	
Poids en kg	1,400
Volume approximatif en dm^3	1,12
Densité :	
Fin de charge	1,274
Fin de décharge	1,190
Poids total de l'élément complet en kg	16

13-I. — Accumulateur Phœnix

Cet élément est de construction identique à l'élément n° 12 H, que nous avons décrit précédemment. Il ne diffère de ce dernier que par le nombre de tiges élémentaires qu'il contient.

On n'a pu relever aucune donnée sur cet élément ; aussitôt après sa mise hors circuit définitive, le constructeur l'avait enlevé du concours pour le réparer et devait le remettre ensuite en essai officieux ; mais il ne l'a pas renvoyé.

4-C. — Accumulateur Tudor

Plaques. — Les plaques de cet élément (fig. 19 et 20) présentent quelque analogie avec celles du 3-K du même constructeur que nous avons précédemment décrites. La négative est presque identique : elle ne diffère que par les dimensions et le sens dans lequel les plaques sont disposées dans le bac. La grille est placée de façon que les rectangles qui la composent aient leurs grands côtés dans le sens de la hauteur de la plaque ; en d'autres termes, les montants latéraux de cette dernière plaque correspondent aux deux traverses de la plaque du n° 3-K.

La plaque positive est notablement différente ; en particulier, sa surface active est beaucoup plus grande que celle de l'élément 3-K. Cette plaque est formée d'une série de lamelles minces de 0,6 mm environ réunies entre elles par des séparations de plus forte section dans le sens longitudinal et dans le sens transversal.

174 lamelles sont disposées parallèlement dans la longueur ; elles sont divisées en 20 parties égales par les renforcements transversaux et groupées par séries de 29 par les séparations verticales. Tout cet ensemble en plomb doux est entouré d'un cadre de même matière dont les montants verticaux ont environ 1,5 mm d'épaisseur et les parties transversales haut et bas 4 mm. A chaque extrémité de la traverse supérieure se trouve une projection en plomb doux placée dans le sens de la hauteur de la plaque ; cette projection est percée d'un trou représentant l'anneau de la plaque n° 3-K. Sur son côté latéral, on vient souder la barre de connexion.

Digitized by Google

A sa partie inférieure, la plaque porte une encoche d'environ 30 mm de hauteur sur 10 mm de largeur, comme les plaques de l'élément 3-K. La surface active totale d'une de ces plaques est de 40 dm^3 : comme l'élément comporte 5 plaques semblables, sa surface totale est donc de 2 m^2 environ et la capacité par dm^2 : 0,6 ampère-heure pour une capacité totale de 120 ampères-heures.

Montage. — Le principe de montage de l'accumulateur 3-K, est adopté dans cet élément ; c'est-à-dire que les positives sont suspendues sur les négatives à l'aide de tiges en ébonite qui pénètrent dans les trous des queues. Les positives sont réunies entre elles comme

Fig. 19. — Plaque négative.

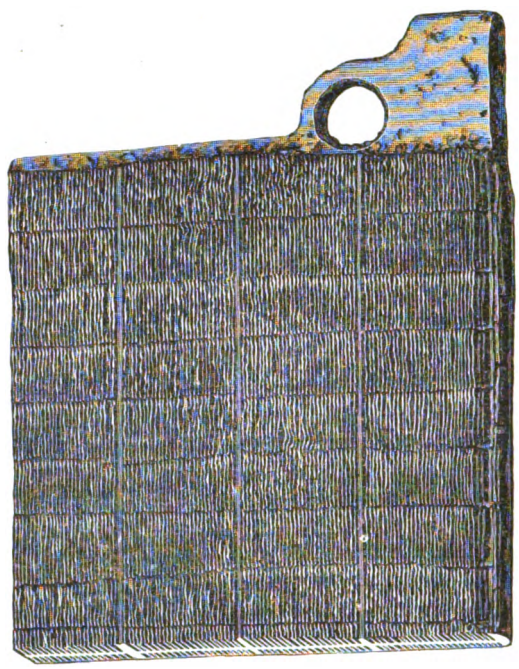


Fig. 20. — Plaque positive.

nous venons de le voir par deux bandes de plomb soudées aux côtés latéraux de ces queues ; quant aux négatives, elles sont réunies haut et bas comme celles de l'élément 3-K, de façon à former un bloc.

L'isolement des plaques est assuré par des baguettes en verre en forme d'U.

Électrolyte. — A la densité 1 200, la quantité d'acide libre que contient l'électrolyte est égale à 813 gr.

16-D. — Accumulateur Hathaway.

Plaques. — La construction de cet élément est très spéciale. La matière active, au lieu d'être placée, comme c'est le cas habituel, dans un cadre ou un grillage qui sert à la fois à la supporter et à lui amener le courant, est agglomérée sous forme de grandes pastilles ayant la dimension de la plaque elle-même.

La plaque positive (fig. 21) est constituée de deux pastilles identiques entre lesquelles est placé le conducteur métallique destiné à lui amener le courant. L'ensemble est maintenu entre deux cloisons poreuses formées chacune de quatre plaquettes en terre cuite

Digitized by Google

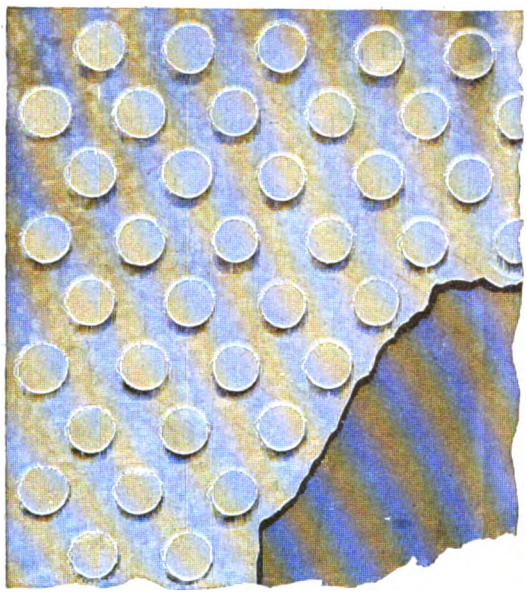


Fig. 21 — Plaque négative.

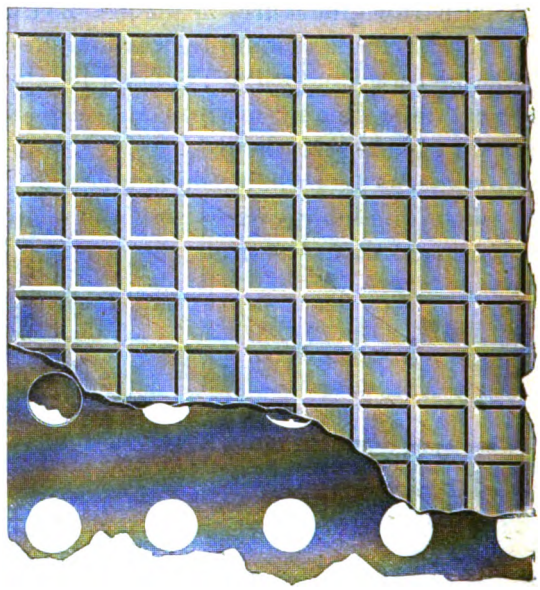


Fig. 22. — Plaque positive.

présentant un quadrillage sur la face extérieure et une série de rainures disposées dans le sens de la hauteur de la plaque sur l'autre face. Le conducteur central est une feuille de plomb mince perforée, dont les perforations ne sont pas garnies de matière active, de façon à ménager des vides à l'intérieur de la plaque.

La plaque négative (fig. 22) n'a pas de support extérieur ou plutôt le support qui sert à maintenir la matière active jusqu'à ce que la formation soit complète, est constitué avec des matériaux susceptibles de se désagréger sous l'action de l'acide; on emploie généralement, à cet effet, une plaquette de bois perforée de trous. Cette plaque est, comme la précédente, formée par l'accolage sur une lame de plomb centrale de deux galettes de matière active. Les plaques négatives extrêmes ne sont composées que d'une seule galette. La surface de ces pastilles de matière active présente des saillies en forme de disques qui sont formées par la matière qui remplissait les trous des supports dans lesquels la plaque était maintenue pendant la formation.

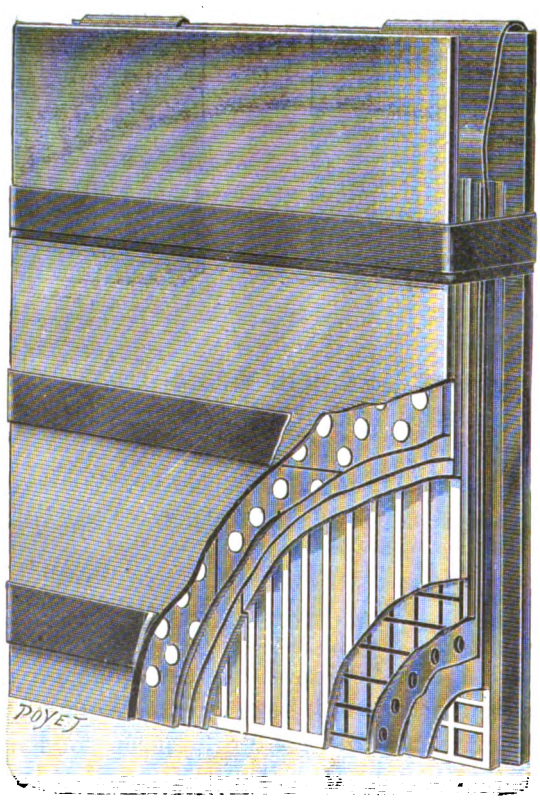


Fig. 23. — Ensemble des plaques.

L'ensemble des électrodes (fig. 23) composant l'élément est placé entre deux lames de verre et le tout est maintenu serré par quatre bandes de caoutchouc.

Cette batterie, partie quelques jours seulement après le début du concours pour être

Digitized by Google

remplacée, n'étant pas revenue, nous n'avons pu relever aucun autre détail sur sa construction.

Bac. — Le bac est en ébonite souple, comme celui de l'élément 3-K; il est façonné comme celui-ci, mais il est formé par une lame d'ébonite présentant deux échancrures latérales par lesquelles sortent les tiges de connexion et un trou circulaire central de petite dimension pour l'évacuation des gaz en charge.

Plaques positives.

Nombre	5
Dimensions en cm :	
Hauteur	21,5
Largeur	15
Épaisseur	0,5
Poids en kg	1,390
Surface active en dm²	40
Surface apparente en dm²	6,50
Rapport de la surface active à la surface apparente	6

Plaques négatives.

Nombre	6
Dimensions en cm :	
Hauteur	21,5
Largeur	15
Épaisseur	0,5
Poids en kg	1,100
Poids approximatif du cadre	0,3
Poids approximatif de la matière active	0,8
Section du cadre en mm² :	
Haut	17
Bas et côtés	12
Écartement des plaques	0,55

Bac.

Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	30
Longueur	16
Largeur	12
Poids en kg	1,220

Electrolyte.

Poids en kg	3
Volume approximatif en dm³	2,5
Densité :	
Fin de charge	1,2
Fin de décharge	1,18
Poids total de l'élément complet en kg	17

9-E. — Accumulateur Wuste et Rupprecht

Plaques. — Les plaques de cet élément sont du type à pastilles maintenues dans un grillage spécial. La même forme de grillage est employée pour les plaques positives et négatives qui ne diffèrent entre elles que par l'épaisseur.

Le support de la matière active est consitué par deux grilles placées l'une sur l'autre ayant des ouvertures en forme de losange au nombre de 108 (voy. fig. 24) : les cloisons formant ces ouvertures ont une section triangulaire et la base de ces triangles d'une longueur de 2 mm se trouve à la surface extérieure de l'ensemble tandis que l'arête opposée située à 1 mm de la base se projette dans l'intervalle compris entre les deux grilles; cet intervalle est maintenu par le cadre extérieur qui entoure le grilage et par des petites tiges normales au plan de la plaque qui, placées au sommet de chaque losange, viennent affleurer la matière active remplissant les intervalles, ou bien sont soudées sur les séparations d'un quadrillage supplémentaire qui divise les grilles en douze rectangles. On peut voir quelques-unes de ces séparations sur la figure qui ne représente qu'une partie de la plaque.

Les deux grilles sont placées, l'une par rapport à l'autre, de telle sorte que les sommets des losanges d'une d'elles se trouvent vis-à-vis du centre des losanges de l'autre grille ; ce procédé a l'avantage de diminuer la dimension réelle des pastilles.

Le cadre extérieur a 2 mm de largeur dans la partie verticale et 3 mm dans le sens horizontal sur l'épaisseur de la plaque.

L'empâtage est fait de telle sorte que le cadre qui entoure la plaque et toutes les séparations qui constituent la grille double sont apparentes. Chaque pastille est percée de quatre trous.

Digitized by Google

Montage. — Les plaques de même polarité sont soudées à une barre horizontale ayant 80 mm² de section qui est renforcée par une nervure de 5 mm d'épaisseur. Au milieu de cette barre se trouve une tige ronde de 12 mm de diamètre, soit 113 mm² qui émerge de la boîte et constitue un pôle de l'élément.

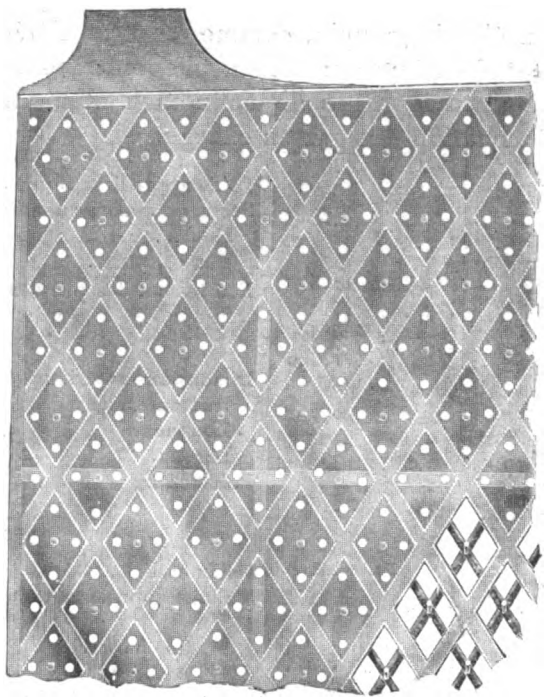


Fig. 24. — Plaque.

Les plaques reposent sur un cadre en celluloïd renforcé par deux traverses dans le sens de la largeur du bac. Leur écartement est assuré par des baguettes en celluloïd soudées par le bas au cadre et réunies par le haut à une ceinture de même matière.

Ce montage a pour but de rendre solidaire l'ensemble des plaques constituant un élément qu'on peut ainsi facilement sortir du bac.

Électrolyte. — Le poids de SO^4H^2 contenu dans l'électrolyte à la densité de 1,231 est de 775 gr.

Bac. — Le bac est en ébonite sans aucune nervure avec couvercle en une pièce formé d'une simple plaque d'ébonite qui pénètre à l'intérieur du bac ; ce couvercle est percé de trois trous dont deux pour laisser sortir les deux bornes de l'élément et le troisième pour l'évacuation des gaz à la charge. Ce dernier est fermé par un bouchon.

Plaques positives.

Nombre	5
Dimensions en cm :	
Hauteur	19,3
Largeur	16,6
Épaisseur	0,4
Poids en kg	0,750
Section du cadre en mm² :	
Haut et bas	8
Côtés	12

Plaques négatives.

Nombre	6
Dimensions en cm :	
Hauteur	19,3
Largeur	16,6
Épaisseur	0,3
Section du cadre en mm² :	
Haut et bas	6
Côtés	9

Bac.

Dimensions extérieures en cm :	
Hauteur	25,5
Longueur	17,5
Largeur	9,5
Poids en kg	0,700

Électrolyte.

Poids en kg	2,500
Volume approximatif en dm³	2
Densité :	
Fin de charge	1,231
Fin de décharge	1,171
Poids total de l'élément complet en kg	13,500

A. Bainville

Digitized by Google

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Sur la marche en parallèle des alternateurs, par le Dr **Gustav Benischke**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 870-873, 14 décembre 1899.

Les électriciens se sont aperçus que la self-induction ne joue pas dans la marche en parallèle des alternateurs, le rôle prépondérant qu'ils lui attribuaient récemment encore : d'autres facteurs encore sont importants.

Dans ce qui suit, il sera toujours question de deux alternateurs : si on en a trois ou plus qui marchent en parallèle, à la place de *tension aux bornes de la seconde machine* il suffira de lire : *tension aux barres du tableau.*

Pour que la marche en parallèle se poursuive sans incidents, il est indispensable :

1° que les machines soient en phase ;

2° que le courant synchronisant ne dépasse pas une certaine valeur.

La seconde condition est remplie si la première l'est et quand, de plus, les tensions aux bornes des deux machines sont égales et quand les forces électromotrices ne sont pas de formes trop différentes.

Si la première condition est remplie et si les courbes des forces électromotrices sont à peu près les mêmes, un courant de compensation ne prendra naissance que dans le cas où, par suite d'un défaut dans l'excitation des machines, les forces électromotrices deviennent différentes. Ce courant de compensation rétablit l'égalité de tension aux bornes des alternateurs, mais n'est pas en phase avec ces tensions ; un diagramme simple peut être construit pour chaque machine, montrant la relation entre la tension aux bornes, la force électromotrice induite et la force électromotrice de self-induction due au courant synchronisant.

La comparaison des deux diagrammes montre que l'égalité de tension aux bornes se trouve rétablie, quoique les forces électromotrices soient différentes. Le courant synchronisant dû à l'inégalité des tensions aux bornes est en majeure partie déwatté, il ne travaille qu'à chauffer les enroulements.

Si les machines sont également excitées, mais ne sont pas bien en phase, la vitesse des deux alternateurs, donc les forces électromotrices, sont différentes : de là résulte un courant de compensation tendant à accélérer la machine la plus lente et à freiner la machine la plus rapide. Les deux machines se comportent comme une génératrice et un moteur ; par suite le courant synchronisant est en majeure partie watté, puisqu'il fournit à la fois l'énergie transformée en chaleur et l'énergie nécessaire pour l'accélération de la machine la plus lente.

En pratique, les deux sortes de courants de compensation prennent naissance en même temps.

Une disposition correcte du régulateur de vitesse ne suffit pas toujours à diminuer le courant de compensation de seconde espèce, parce que la valeur elle-même du régulateur et le degré de régularité du moteur interviennent.

Parfois, les alternateurs étant bien en phase, le courant synchronisant de seconde espèce a une si grande valeur que la marche en parallèle est rendue impossible.

Ceci se produit en premier lieu, avec des moteurs à vapeur accouplés directement aux alternateurs, et même si le régulateur maintient la vitesse suffisamment constante, dans le cas où les moteurs ont un mauvais coefficient de régularité et où le couplage a été fait de telle manière que les manivelles ont un certain écart angulaire. Avec des moteurs à vapeur de même structure et lorsque l'accouplement est fait de telle sorte que les manivelles marchent en concordance, on n'obtient pas, il est vrai, l'uniformité de la vitesse circonférentielle, mais les maxima et minima de la vitesse se produisent en même temps, et quoique les forces électromotrices des deux machines ne soient pas bien constantes pendant la durée d'un tour, pourtant leurs valeurs instantanées restent égales.

L'expérience montre que, dans ces conditions, une bonne marche en parallèle est absolument possible. La grandeur du courant synchronisant dépend du degré de régularité, de la grandeur de l'écart angulaire entre les manivelles et naturellement de la self-induction et de la résistance ohmique des enroulements.

Digitized by Google

Un second cas où la marche en parallèle est rendue impossible par la grandeur du courant synchronisant est celui d'un transport de force avec un moteur à mauvais coefficient de régularité et une commutatrice. Un moteur synchrone est identique à une génératrice au point de vue de la mise en parallèle. Mais dans une commutatrice, aucun élément n'a de mouvements linéaires ou pendulaires : la machine prend donc une vitesse moyenne et sa force contre-électromotrice reste constante : la génératrice, par contre, n'a pas une vitesse régulière, et elle fournit une force électromotrice de grandeur périodiquement variable : il se produit donc entre les forces électromotrices des deux machines un écart qui est, lui aussi, périodiquement variable, et par suite un courant de compensation va prendre naissance. Mettre en circuit une bobine de self-induction est le seul remède.

Un courant synchronisant gênant peut aussi prendre naissance, quand l'alternateur est entraîné par le moteur à vapeur à l'aide de courroies ou de cordes, et même s'il est mû par une turbine, et cela, lorsque les courbes de force électromotrice des deux machines sont trop différentes.

Les forces électromotrices ne gardent plus, pendant une période, des valeurs toujours identiques et il se produit entre les deux alternateurs un courant dû à la différence entre les forces électromotrices : un changement d'excitation ne peut rien contre ce courant synchronisant. La

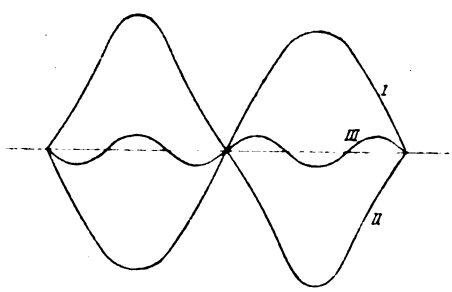


Fig. 1.

figure 1 montre comment se produit la force électromotrice de synchronisation (III) quand une machine à courbe aplatie (I) est couplée avec une machine à courbe pointue (II). Comme on le voit, la fréquence du courant synchronisant est triple de celle du courant normal. La résistance apparente des enroulements des alternateurs, pour ce courant synchronisant, est donc à peu près trois fois aussi grande que sa valeur réelle (en faisant abstraction de la résistance ohmique). Avec des machines de type différent, on peut avoir des courbes très dissemblables et le courant synchronisant sera perturbateur, avec une charge non inductive, seulement lorsqu'il dépasse 1/4 du courant normal, cela parce que le courant synchronisant déwatté s'ajoute *géométriquement* au courant watté. Mais ce courant synchronisant est toujours nuisible dans le cas d'une charge très inductive, car il augmente le courant déwatté déjà désagréable par lui-même.

L'exemple précédent se rapporte à des machines qui donnent des courbes symétriques (à pôles alternés). Avec les machines à pôles non alternés, donc à courbes asymétriques, on se trouve parfois en présence de phénomènes particuliers dont voici un exemple.

Deux machines à courants triphasés, du type *à pôles non alternés*, mais ayant des bobinages différents (fig. 2 et 3) étaient actionnées à l'aide

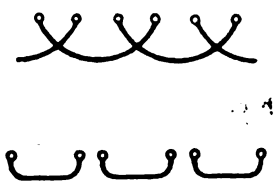


Fig. 2 et 3.

de courroies par des machines à vapeur possédant d'excellents régulateurs. Mises en parallèle, elles ont été le siège d'un courant synchronisant beaucoup plus grand que le courant watté de pleine charge. Déjà, lorsque la tension était moitié de la tension de régime, le courant synchronisant était à peu près égal au courant utile de régime. Avec ce courant synchronisant énorme, la marche en parallèle des alternateurs ne méritait pas de reproches, et même des ampèremètres non amortis avec aiguilles légères restaient très tranquilles. Les inégalités dans la vitesse de rotation des deux machines n'étaient donc pas en cause. Les bobinages étaient en étoile et les points neutres reliés par un conducteur; on coupa ce conducteur et le courant synchronisant disparut presque entièrement. Cette expérience, étonnante au premier abord, doit s'expliquer par l'asymétrie des courbes de tension.

La figure 4 représente schématiquement une machine à poles alternés et la forme de son

Digitized by Google

champ magnétique ; il y a deux axes de symétrie pour chaque pôle, l'un passant par le milieu du pôle, l'autre, par le milieu de l'espace interpolaire. La courbe de force électromotrice doit donc aussi être symétrique par rapport à deux axes, dont l'un passe par les points d'ordonnée maxima et l'autre par les points d'ordonnée nulle. Dans une machine à pôles non alternés

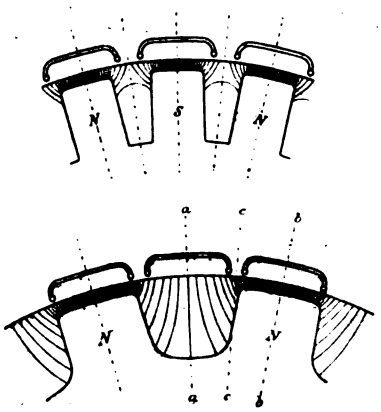


Fig. 4 et 5.

(fig. 5), pour chaque pôle, le champ n'a plus qu'un seul axe de symétrie : on n'aura généralement pas de courbe symétrique.

Quand un alternateur qui donne une telle courbe (I) (fig. 6) et un autre donnant une courbe symétrique (II) sont couplés en parallèle, il se produit un courant synchronisant sous l'influence de la force électromotrice représentée par (III). Le courant synchronisant est d'autant plus grand que la distance angulaire du point maximum de la courbe asymétrique au milieu de l'intervalle entre les zéros est plus grande. Quand les deux alternateurs ont des courbes déviées en sens contraire, il peut se produire un courant synchronisant plus grand que le courant de régime. C'était ce qui se produisait dans le cas cité plus haut (fig. 7). La liaison des points neutres faisait naître 3 courants synchronisants I NN I, II NN II, III NN III, ayant chacun la forme indiquée figure 6. Si on enlève la liaison les 3 circuits possibles sont I II II I, I III III I, II III III II. Pour connaître la force électromotrice qui produit le courant synchronisant, il faut connaître la courbe de la tension entre deux conducteurs. Celle-ci est la résultante des courbes de tension de chacune des deux phases décalées l'une par rapport à l'autre de 120°, et, à cause du couplage elle aura pour équation

$$A = \varepsilon f(\omega t) + \varepsilon f(\omega t - 60).$$

Ceci est représenté par la figure 8. La courbe

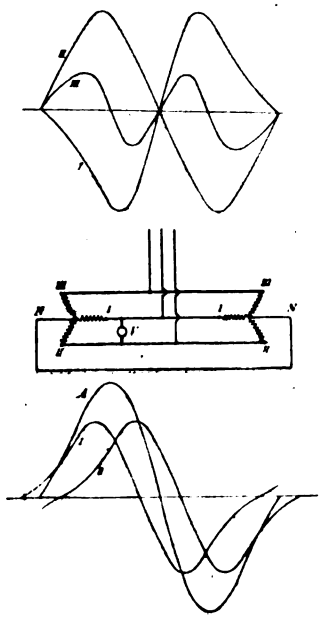


Fig. 6, 7 et 8.

résultante A est, on le voit presque symétrique : ceci explique que dans la marche en parallèle avec de telles machines, il peut se produire un fort courant de compensation si les points neutres sont reliés, et un courant synchronisant presque nul dans le cas contraire,

Le Dr Benischke considère ensuite le cas où les alternateurs ne marchent pas bien en phase. On observe alors des mouvements pendulaires. Parfois ces mouvements augmentent d'amplitude jusqu'à un certain maximum, puis diminuent jusqu'à un minimum, et ainsi de suite, sans que pour cela les machines se décrochent. Parfois aussi les amplitudes vont toujours en croissant et les alternateurs se décrochent. M. Kapp explique le fait par la résonnance de deux oscillations (1). M. Benischke l'explique par l'influence de deux ou trois oscillations de périodes plus ou moins différentes. La figure 9 montre comment, de l'interférence de deux oscil-

(1) *Écl. Élect.*, t. XX, p. 182 et XXI, p. 121.

Digitized by Google

lations dont les périodes sont comme les nombres 8 et 9, peut provenir une oscillation à amplitude croissante.

C'est tout à fait ce qui se passe avec le courant synchronisant quand les alternateurs ne mar-

Fig. 9.

chent pas en phase. Le courant synchronisant est watté et est décelé par des oscillations régulières des index des appareils de mesure. S'il y avait là phénomènes de résonnance, le courant synchronisant et le mouvement oscillatoire des appareils de mesure seraient beaucoup plus saccadés et on ne pourrait expliquer l'augmentation ni la diminution d'amplitude.

Le Dr Benischke n'est pas de l'avis de M. Kapp quant à la manière de prévoir si un alternateur a tendance à présenter des mouvements pendulaires. Un alternateur directement couplé avec son moteur a une certaine irrégularité de vitesse pendant un tour; il reçoit, en effet, à chaque montée de manivelle, une impulsion qui n'est qu'adoucie par une grande inertie des masses tournantes. Ce mouvement de rotation périodiquement irrégulier peut se décomposer en deux : un mouvement de rotation à vitesse uniforme et un mouvement pendulaire de fréquence égale au nombre des impulsions.

Ces oscillations sont donc intimement dépendantes, au point de vue de la fréquence et de l'amplitude, de la nature du régulateur et de la distribution, et non pas du système oscillant seul. Ce mouvement oscillatoire est donc absolument fatal. Le courant synchronisant ne prend naissance que lorsque la machine se désynchronise; la force synchronisante est proportionnelle à l'écart angulaire qu'a pris un pôle, par rapport à sa position de synchronisme, sous l'action du mouvement pendulaire forcé.

L'action de cette force synchronisante et l'inertie des parties tournantes sont donc les facteurs de la seconde oscillation : et on peut l'appeler oscillation spécifique. Tant qu'elle est de faible durée et de faible amplitude relativement aux autres oscillations coexistantes, elle n'est pas renforcée : les alternateurs présentent des mouvements pendulaires, mais ne se décrochent pas.

Si les durées d'oscillation et les amplitudes ne sont que peu différentes, il se produit forcément une interférence, les oscillations, le courant synchronisant augmentent et on arrive au décrochage.

Cependant, si l'une des deux oscillations primitives est de faible grandeur, l'oscillation résultante ne sera pas beaucoup plus importante que l'autre (fig. 10) : il n'y aura pas décro-

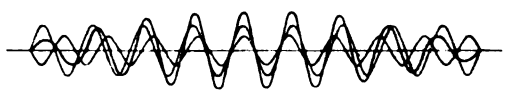


Fig. 10.

chage. S'il s'agissait d'un phénomène de résonnance, il suffirait d'une concordance suffisante entre les périodes d'oscillation des alternateurs, même si les amplitudes étaient petites, pour que le décrochage se produise.

Pour calculer la période d'oscillation propre de l'alternateur, il faut prendre, non la formule :

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{m}{c}},$$

mais

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{K}{Gr}}$$

K, moment d'inertie totale des masses en mouvement, G plus grande force qui agisse sur la partie oscillante, r distance du point d'application de cette force au centre de rotation. G représente pour nous la force synchronisante maxima, c'est-à-dire celle qui se produit lorsque le pôle s'éloigne de sa position de synchrone au point de venir dans le champ de la bobine induite la plus proche.

La formule de Benischke fait intervenir le moment d'inertie et la force synchronisante, et non pas, comme celle de Kapp, la masse et la force tangentielle.

Le moment d'inertie et la force synchronisante sont difficiles à calculer, parce qu'il faudrait tenir compte de la durée des oscillations et de leur amplitude : cette dernière dépend de la charge.

En dernier lieu, il faut envisager la torsion

Digitized by Google

de l'arbre. Avec des alternateurs directement accouplés avec les moteurs à vapeur, l'arbre est généralement long par rapport à son diamètre, et il est encore interrompu par la manivelle. Il se produit, avec la charge, une torsion de l'arbre, de sorte qu'au lieu de deux oscillations primitives, il y en a trois. Cette dernière dépend du degré de torsion de l'arbre et de l'inertie de la partie tournante : son amplitude est vraisemblablement proportionnelle à la charge.

En résumé, il faut considérer trois mouvements oscillatoires importants et M. Benischke pense qu'on ne peut guère les soumettre au calcul.

L'article allemand se termine par la description d'un appareil de cours permettant de faire voir comment se développent les mouvements pendulaires des alternateurs couplés en parallèle. J. G.

Génératrices polymorphiques par **A.-D. Adams**. *The Electrical World*, t. XXXIV, p. 742 et 935, 11 novembre et 16 décembre 1899.

Les génératrices polymorphiques en question ici sont celles produisant à la fois du courant continu à basse tension et des courants alternatifs à haute tension.

Les progrès réalisés par les ingénieurs électriciens en ce qui concerne l'équipement des stations centrales ayant à alimenter un réseau dans le voisinage de l'usine génératrice et un second réseau à une distance assez grande relativement de l'usine, consistent d'abord en l'uniformisation du matériel générateur, puis en l'emploi de génératrices polymorphiques donnant à la fois des courants alternatifs et du courant continu à basse tension et n'ayant par suite qu'un seul enroulement induit et enfin en l'emploi de génératrices polymorphiques mais ayant cette fois deux enroulements induits distincts donnant, l'un du courant continu à basse tension, l'autre du courant alternatif à haute tension pour le transport à distance.

L'emploi de groupes électrogènes fournissant une seule nature de courant dans une usine produisant à la fois du courant continu et du courant alternatif a bien pour effet de diminuer la consommation de vapeur, mais il a l'inconvénient d'exiger un matériel triple ou quadruple du matériel qui serait nécessaire pour alimenter directement les appareils récepteurs. Ainsi si l'énergie est produite sous forme de courant continu à basse tension, l'alimentation du réseau suburbain à courant alternatif à haute tension exigera l'emploi d'un transformateur rotatif transformant le courant continu en courant alternatif à basse tension et dont il faudra par suite élever la tension à l'aide de transformateurs ; la capacité du matériel électrique sera donc triple de celle des appareils récepteurs à alimenter. Il en sera encore de même si l'usine produit uniquement du courant alternatif à haute tension.

L'emploi d'une dynamo fournissant à la fois du courant continu et du courant alternatif, tous deux à basse tension, permet de supprimer le convertisseur de courant continu en alternatif et vice versa ; c'est le cas des nouvelles unités génératrices installées à la station centrale de Chicago.

Une autre combinaison analogue, peu recommandable du reste, consisterait à employer des unités à courant continu et courants alternatifs à haute tension, mais la réalisation des dynamos à courant continu à 2 000 ou 3 000 volts est assez délicate et augmenterait beaucoup le prix du matériel. Dans ce cas on supprime bien les transformateurs à courants alternatifs, mais il y a lieu d'abaisser la tension du courant continu à l'aide d'un moteur générateur ou d'un dynamoteur ce qui est moins avantageux comme prix que la solution consistant à produire les courants alternatifs à basse tension.

La solution évitant l'établissement d'un matériel de capacité double ou triple de celle des appareils d'utilisation exigerait l'emploi de dynamos fournissant à la fois du courant alternatif à haute tension et du courant continu à basse tension ; telle est la proposition de M. Adams.

Dans certaines stations centrales, principalement en Angleterre, on a préconisé un système analogue consistant à atteler sur un même moteur à vapeur, une dynamo à courant continu et un alternateur, les deux dynamos étant placées l'une dans le prolongement de l'autre de façon à permettre l'emploi de l'ensemble comme transformateur rotatif de courant continu en courant alternatif et vice versa par démanchonnage du moteur primaire.

C'est en quelque sorte un perfectionnement de ce dispositif que propose en somme M. Adams. Chaque induit d'une dynamo de ce genre comporterait deux enroulements aboutissant l'un à

Digitized by Google

des bagues de prises de courant, l'autre à un collecteur (1).

Dans le cas d'une distribution uniquement par courant alternatif les deux induits seraient à courant alternatif l'un à basse tension pour la distribution locale, l'autre à haute tension pour la distribution à distance.

La difficulté de réalisation d'une dynamo à deux induits, l'un à basse tension, l'autre à haute tension, n'est pas aussi grande qu'on pourrait le supposer au premier abord. En particulier le problème est facile à résoudre dans le cas où la distribution à haute tension se fait par courant alternatif simple. L'espace occupé par l'enroulement à haute tension est en effet moindre que la moitié de la surface de l'armature et l'espace libre peut facilement être utilisé pour loger l'enroulement à basse tension à courant continu ou à courant alternatif.

Ces machines pourront, avec l'emploi d'une batterie d'accumulateurs, servir de convertisseurs permettant d'alimenter le réseau éloigné de l'usine pendant les heures d'arrêt des moteurs primaires.

Dans un second article sur le même sujet, M. Adams réfute quelques objections qui lui ont été posées dans une note éditoriale de l'*Electrical World and Engineer* au sujet de la difficulté d'isolation entre les deux enroulements induits. M. Adams fait remarquer d'abord qu'il a en vue une station centrale ordinaire, c'est-à-dire comprenant un réseau local et un réseau à une distance assez faible pour ne pas exiger une tension supérieure à 2 000 ou 2 500 volts, ce qui est en somme un cas assez fréquent, et non un transport à une grande distance exigeant une tension de 5 000 à 10 000 volts, transport qui correspond rarement à une demande importante d'énergie dans le voisinage de l'usine génératrice.

Notre confrère faisait remarquer en outre à M. Adams que les machines à haute tension à courant alternatif exigent un très petit nombre d'encoches pour diminuer l'encombrement de l'enroulement en même temps que pour assurer sa parfaite isolation, tandis que les dynamos à courant continu nécessitent l'emploi d'un grand nombre d'encoches par pôle et que par suite une dynamo à haute et basse tension devra comporter forcément deux séries d'encoches, les unes assez grandes et écartées pour le bobinage de l'induit à courant alternatif et les autres pour l'enroulement à courant continu. De plus la difficulté d'isolation ne permettra que difficilement le logement des enroulements dans les mêmes trous.

A ceci l'auteur fait remarquer que l'isolation des deux enroulements dans une même rainure n'est pas plus difficile que l'isolation d'un enroulement à haute tension par rapport à la masse et que rien ne s'oppose, et c'est, suivant lui, la tendance actuelle, à multiplier le nombre de tours dans les induits à courants alternatifs. Un calcul simple permet cependant de constater que dans le cas d'un induit à courant alternatif à haute tension ayant un nombre d'encoches par pôle comparable à celui d'une dynamo à courant continu ordinaire, la place pour loger les inducteurs et l'isolant est très faible; et le problème ne saurait nullement être résolu d'une manière satisfaisante, comme le pense M. Adams, en augmentant la hauteur radiale du fer.

Finalement, M. Adams, et il aurait peut-être pu commencer par là, propose d'employer deux induits distincts calés sur le même arbre et excités par le même champ magnétique. Une telle machine serait évidemment un peu plus coûteuse qu'une dynamo à un seul induit et deux enroulements, mais il y aura avantage, par rapport à la dépense d'un transformateur nécessaire pour élever la tension, si le courant alternatif était produit directement à basse tension.

Toutefois, dit l'*Electrical World* dans sa note éditoriale, l'espace qu'il sera nécessaire de ménager entre les deux induits pour le logement des connexions, développantes ou chignons, donnera une mauvaise utilisation du champ inducteur et conduirait probablement l'auteur à constituer deux inducteurs distincts, un pour chaque induit, c'est-à-dire, en somme, à employer deux machines distinctes accouplées directement; c'est la solution dont nous avons parlé plus haut.

Présentée de cette façon la solution est sûre-

(1) Nous croyons utile de rappeler ici que des machines de ce genre ont été construites en France par la Société l'Eclairage Électrique en 1893. Les induits étaient bobinés, celui du courant continu en anneau et celui du courant alternatif en tambour; le courant continu était toutefois employé uniquement à l'excitation de l'alternateur, mais le principe n'en subsiste pas moins (voir à ce sujet l'article de M. C.-F. Guilbert, *Lumière Electrique*, t. L, p. 101, 1893).

Digitized by Google

ment moins économique que l'emploi d'une dynamo à un seul enroulement induit donnant à la fois du courant continu et du courant alternatif à basse tension avec un transformateur pour élever la tension à la valeur voulue. L'emploi d'un transformateur nécessite en effet un supplément de capital engagé de 20 p. 100 de la puissance à transformer, c'est-à-dire de 10 p. 100 de la puissance totale si l'on admet que l'énergie à transmetre à distance est égale à celle à distribuer dans le voisinage de l'usine, car le prix d'une génératrice à double courant est sensiblement le même que celui d'une dynamo ordinaire. Or le prix d'une dynamo avec deux induits serait probablement supérieur de 10 p. 100 à celui d'une dynamo ordinaire de même puissance.

Quant au rendement, en prenant 96 p. 100 pour le rendement du transformateur et en admettant le même rendement pour les génératrices des deux sortes, il ne serait en somme que de 2 p. 100 plus grand dans l'emploi d'une génératrice à deux induits distincts. J. R.

TRACTION ÉLECTRIQUE

Projet d'installation de traction électrique sur les lignes de chemins de fer urbaines de Berlin.

La circulation sur les chemins de fer urbains de Berlin a, dans ces dernières années, pris une extension considérable. Les courbes représentées par la figure 1, indiquant la progression annuelle de la circulation sur le métropolitain et le chemin de fer de ceinture, ne laissent aucun doute à cet égard. Les installations actuelles sont absolument insuffisantes pour subvenir aux besoins de l'exploitation; et un projet d'agrandissements basé sur une augmentation de 20 ou 30 p. 100 du chiffre actuel des voyageurs, conduirait en peu de temps à la même situation que celle d'aujourd'hui.

Dans son numéro du 15 novembre 1899, l'*Elektrotechnische Zeitschrift* nous expose un projet consistant à modifier aussi peu que possible les constructions actuellement existantes et à remplacer la traction à vapeur par la traction électrique. De la sorte, la marche du train pourra être accélérée et par suite la capacité d'exploitation augmentée.

Les trains actuellement en circulation se composent de 9 voitures à deux essieux et d'une locomotive; les trains électriques se composeront de 8 voitures motrices à quatre essieux, ce qui correspond à une augmentation de capacité de 80 p. 100. Ce chiffre de 8 voitures n'est

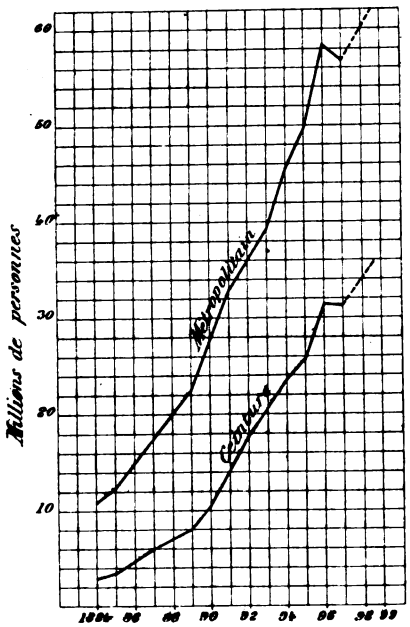


Fig. 1. — Progression du chiffre annuel des voyageurs sur les lignes urbaines de Berlin.

d'ailleurs pas une limite et pourra être notablement augmenté sans créer pour cela de difficulté d'exploitation : la seule mesure à prendre sera d'agrandir certaines gares.

Comme la durée nécessitée par le démarrage et l'arrêt se trouve diminuée tandis que la vitesse maxima sera augmentée, le temps que mettra chaque train à parcourir chaque section du block-système sera réduit de 3 à 2 minutes. Si l'on compte sur un arrêt moyen de 30 secondes et une vitesse maxima de 50 km à l'heure, on réalisera sur le système actuel une économie de temps de 20 p. 100 environ. Si en outre on se place dans le cas de trains à 12 voitures se suivant de 2 en 2 minutes, on augmentera la capacité d'exploitation de 260 p. 100.

Le réseau de Berlin (fig. 2) comprend actuellement une circulation horaire de 1 188,5 trains-kilomètre; le projet actuel se base sur le même chiffre. Le principal avantage de la traction électrique sur la traction à vapeur est dans le cas qui nous occupe, la rapidité de démarrage. La force

Digitized by Google

de traction d'une locomotive du métropolitain est dans les premières secondes de 4 400 kg ; elle diminue bientôt mais reste encore assez grande pour donner au train une accélération de 15 cm par seconde jusqu'à ce que la vitesse ait atteint 12 mètres à la seconde. A ce moment, 80 se-

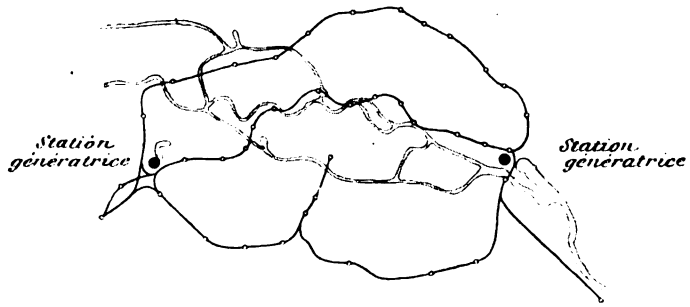


Fig. 2. — Métropolitain et ceinture de Berlin.

condes se sont écoulées et le chemin parcouru est de 500 mètres.

La force de démarrage des trains électriques projetés est bien plus considérable. Chaque voiture comprend 2 électromoteurs pouvant fournir ensemble 350 chevaux ce qui fait au total 2 800 chevaux (contre 400 chevaux pour la locomotive). On s'est imposé une accélération de 0,455 m par seconde depuis l'arrêt jusqu'à la vitesse de 12 mètres, accélération d'ailleurs indépendante du nombre des voitures. Le train prendra donc sa vitesse en 26,4 secondes et aura parcouru 160 mètres à ce moment. Dans les 53,6 secondes suivantes, il parcourra 643 mètres si la vitesse reste constante, ce qui lui fait une avance de 303 mètres sur le train à vapeur, et cela sans accroissement de la vitesse maxima. En réalité la vitesse maxima prévue est de 13,9 mètres par seconde.

Le démarrage rapide des trains électriques a été aussi utilisé pour réaliser une économie d'énergie. Le train à vapeur ne peut en effet atteindre sa pleine vitesse que très peu de temps avant la station et une force vive qui lui permettrait de parcourir encore 2 000 mètres est dissipée par le freinage.

Le train électrique arrive bien plus tôt en vitesse. Si l'on coupe alors le courant la vitesse diminue graduellement. Si l'on détermine le moment de cette interruption par la condition que le train électrique entre en gare avec la même vitesse que le train à vapeur, le premier ne perdra rien de son avance mais les pertes par freinage seront les mêmes. Si au contraire on

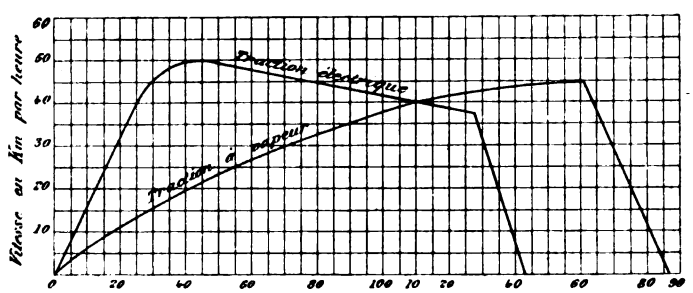


Fig. 3. — Comparaison entre les graphiques de marche d'un train électrique et d'un train à vapeur.

consent à perdre une partie de l'avance, c'est-à-dire si on coupe le courant plus tôt, les pertes par freinage seront diminuées. Dans le projet, on compte sur une augmentation de 20 p. 100 sur la vitesse moyenne et sur une diminution de 20 p. 100 sur les pertes par freinage. La figure 3 représente 2 diagrammes de marche, l'un pour les trains à vapeur, l'autre pour les trains électriques : on voit entre autres que ces derniers sont bien plus aptes à rattraper un retard.

Il nous paraît à peine nécessaire de signaler

Digitized by Google

l'économie notable que l'on obtient en produisant l'énergie dans une station centrale au lieu de la produire sur une locomotive (condenseurs, économiseurs, réchauffeurs). L'emploi des batteries-tampons permet aussi de réaliser une économie notable en faisant toujours marcher les machines à pleine charge. L'économie résultant de l'ensemble de ces conditions est notablement supérieure à la dépense résultant de la perte en ligne.

L'énergie sera produite par deux grandes stations centrales. La distribution sera à trois fils avec 600 volts sur chaque pont : le courant sera amené aux moteurs par un rail situé à proximité de chaque voie, sur lequel frotteront des glissières. Dans chaque station il y aura une batterie d'accumulateurs connectée au rail d'amenée du courant. Cet emploi d'accumulateurs est absolument indispensable pour parer aux à-coups considérables produits par les démarrages. Un train de 8 voitures exige au démarrage une intensité de 4000 ampères sous 600 volts. Cette condition a nettement déterminé la préférence donnée au courant continu sur l'alternatif. Dans ce dernier cas en effet l'emploi d'accumulateurs est impossible ou du moins ne peut se faire qu'indirectement et avec perte d'énergie. Ajoutons que les batteries pourront assurer tout le service pendant 3 heures, ce qui constitue un très haut degré de sécurité.

Chaque section du rail conducteur peut être mise hors-circuit sans interruption de service pour les autres : les deux stations génératrices continuent en effet à fournir le courant de chaque côté de la portion interrompue. Le système à 3 fils évite en outre les érosions produites par le courant : celui-ci en effet ne retourne pas directement des rails à la station, mais va des rails montants aux rails descendants puis retourne par les trains descendants. Le rendement d'un rail de contact est de 96 p. 100. Ce chiffre est important car la durée de la pleine charge est extraordinairement élevée, 19 heures par jour.

Chaque station centrale (voir fig. 2) contiendra d'abord 10 dynamos shunt d'une puissance normale de 750 kilowatts. Ces machines seront deux par deux accouplées directement à une machine à triple expansion d'une puissance normale de 2000 chevaux et d'une puissance maxima de 2 500 chevaux. Les stations comprendront tous les dispositifs économiques modernes, condenseurs, économiseurs, réchauffeurs, appareils électriques de transport de charbon.

Nous avons dit que les machines à vapeur auraient une marche régulière. En outre la durée d'interruption pendant la nuit sera si courte que les chaudières auront à peine le temps de se refroidir. Le kilowatt-heure sera donc produit à des prix extraordinairement bas d'autant plus que les frais auxiliaires de personnel et autres auront à se répartir sur une consommation annuelle de 66 millions de kilowatts-heure.

En hiver les trains seront chauffés électriquement : il faudra alors 8 machines à vapeur marchant en pleine charge pour assurer le service. La réserve sera constituée :

1° Par les deux dernières machines à vapeur ;

2° Par la possibilité d'accroître de 25 p. 100 la puissance maxima de chaque machine ;

3° Par les batteries.

Les figures 4 et 5 représentent les dispositifs d'amenée du courant : ils se composent de tasseaux de bois A, d'isolateurs B, de rails de courant C, et de toiture de protection en bois D. Les tasseaux de bois imprégné ont 24 cm de large, 10 cm d'épaisseur, 65 cm de long. Des boulons A_1 fixent l'une des extrémités du tasseau à la traverse. L'isolateur, fixé sur le tasseau par des vis, se compose d'un socle en fonte B_1 d'une cloche en porcelaine B_2 et d'une pièce en fonte B_3 qui tient le rail. Deux rails consécutifs sont réunis par une éclisse en cuivre boulonnée avec des boulons en acier. Un toit de protection en bois préserve le rail de la pluie et de la chute de corps étrangers qui pourraient établir un contact à la terre. En ligne droite, les isolateurs sont distants de 3 mètres. Les 2 rails d'amenée sont tous deux disposés dans l'entre-voie. Dans les gares où le trottoir se trouve entre les deux voies, les rails d'amenée seront reportés vers l'extérieur et réunis aux sections précédentes au moyen de câbles sous plomb. Il en sera de même aux embranchements : comme les moteurs d'une voiture sont indépendants des autres, pendant ces changements de voie, une partie des moteurs empruntera le courant aux rails positifs, l'autre partie aux rails négatifs. Dans les changements de voie (fig. 6) le rail de contact est interrompu sur une longueur de 32,85 m dans le cas le plus défavorable ; mais cette interruption n'apportera aucune perturbation car chaque voiture possède deux prises de courant, l'une à

Digitized by Google

l'avant l'autre à l'arrière et trouve ainsi une longueur de 14,93 m. Si on parcourt toujours les mêmes changements de voie, il n'y a pas d'interruption de courant. Chaque fois que le rail d'amenée cesse, il a son extrémité recourbée vers l'extérieur de façon que le contact glissant

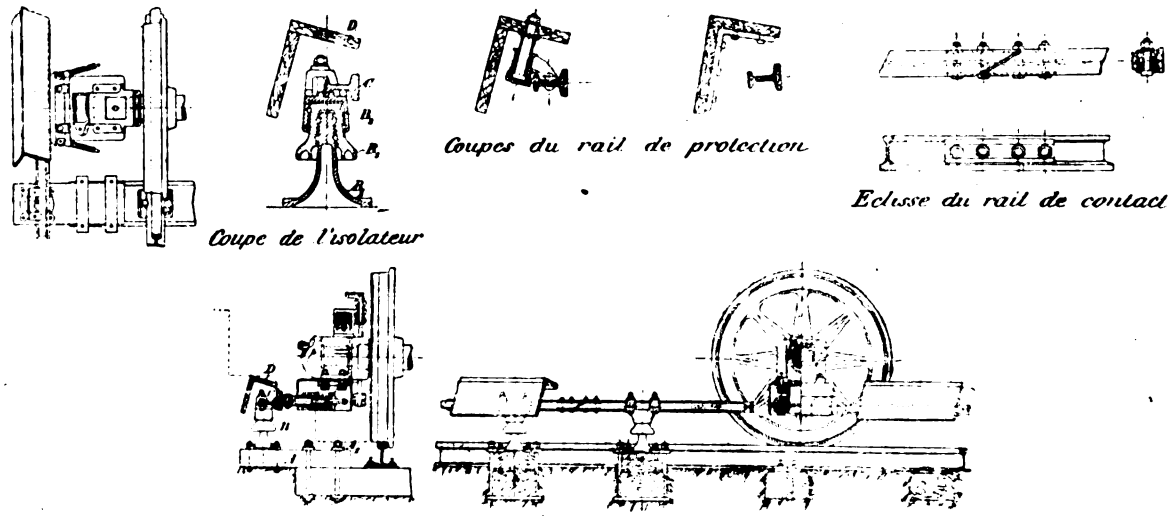


Fig. 4 et 5. — Rail et prise de contact.

vienne correctement prendre sa position. La figure 7 montre la position de ce contact par rapport au profil de la voie : il est disposé

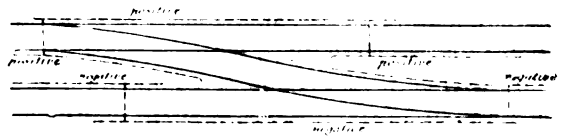


Fig. 6. — Changement de voies.

sous les marchepieds, ce qui empêche les voyageurs de le toucher par mégarde.

La section du rail est calculée de manière à donner une perte de tension maxima de 50 volts et une perte moyenne de 25 volts. L'emploi du cuivre conduit pour le rail du métropolitain à une section de 3 400 mm², pour celui de la ceinture de nord de 2 200 mm² et pour celui de la ceinture de sud de 2 550 mm². Les autres lignes seront alimentées par des rails de fer.

Chacune des 38 sous-stations aura une batterie de 550 éléments d'une capacité de 800 ampères-heures pour une heure de décharge et en outre une dynamo avec son moteur et les instruments de mesure pour recharger la batterie pendant la nuit. Toutes les batteries réunies peuvent fournir à elles seules 40 000 kilowatts pendant 5 heures, c'est-à-dire remplacer en toute sécurité les deux stations centrales pendant ce temps.

L'équipement électrique des voitures comprend 2 moteurs de 175 chevaux pesant 2,4 tonnes chacun, les contacts de prise de cou-

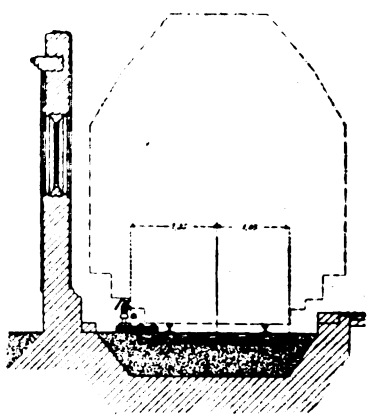


Fig. 7. — Profil de la voie.

rant, les appareils de couplage et de régulation ainsi que l'éclairage. Les figures 4 et 5 montrent la construction de la prise de courant. Le combinateur est disposé sous la caisse. Le conducteur placé à l'avant de la première voiture du train commande tous les combinateurs par l'intermédiaire d'électromoteurs. Un commutateur à trois touches (marquées *départ*, *marche*, *frein*)

Digitized by Google

permet au conducteur d'agir sur cet électromoteur. Ce système de régulation permet de réunir électriquement plusieurs moteurs du train et de régler la vitesse à partir de la première voiture ; un autre avantage consiste dans ce fait que les voitures sont uniquement réunies par les fils fins des électromoteurs auxiliaires, non par de gros câbles. Une avarie quelconque survenant à un moteur n'intéresse donc nullement les autres et le voyage se continue très facilement, les autres moteurs suffisant à assurer la vitesse voulue à l'ensemble du train. Il n'y a aucune manœuvre à faire en gare terminus : le conducteur se rend simplement à l'autre extrémité du train, qui devient la tête à son tour.

Le freinage s'opère au moyen d'un frein à air comprimé donnant un ralentissement de 0,50 m par seconde. En outre il y a un freinage électrique, consistant à transformer les moteurs en génératrices. Chaque voiture a un frein à air ; la première et la dernière voiture ont une pompe à air mue électriquement. Le chauffage se fait électriquement d'une part avec les rhéostats de démarrage, d'autre part avec des résistances additionnelles réglables à volonté.

Le nombre de voitures nécessaire peut se calculer ainsi : il y a au maximum 9 600 voitures-kilomètre par heure ; la vitesse moyenne est de 28,2 km. Si on ajoute 14 p. 100 pour les voitures stationnant aux extrémités et les voitures de réserve on arrive au chiffre de 400.

Les dépenses sont évaluées de la façon suivante :

Achats de terrains	1 300 000
Bâtiments	2 200 000
Installation des stations génératrices	8 500 000
Canalisation	8 600 000
Accumulateurs	7 500 000
Voitures	24 000 000
Frais généraux	1 500 000
Total	53 600 000 fr

E. B.

Dispositif Siemens et Halske pour voitures à trôlet et à accumulateurs. — Brevet allemand. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVI, p. 195, 1er juin 1899.

La disposition adoptée par la firme Siemens et Halske pour l'exploitation des tramways électriques avec accumulateurs et conducteur extérieur présente certains avantages sur celles actuellement en usage, au point de vue de la sécurité du fonctionnement. Lorsque la voiture quitte la partie de la voie à fil aérien, le mécanicien est forcé de séparer la prise de courant du circuit en charge ; en outre, par un dispositif connu, lorsque la voiture est alimentée par le conducteur externe, une résistance est intercalée dans le circuit des lampes pour éviter qu'elles ne soient soumises à la tension trop élevée du réseau.

La prise de courant b est reliée à un commutateur A qui porte deux pièces de contact c isolées du reste mais communiquant entre elles et une pièce d toujours reliée à la prise b et munie d'une encoche e ou d'une pièce isolante, de telle sorte que dans la position représentée par la figure 1 le ressort de contact f ne puisse communiquer avec la pièce b, tandis que la communication a lieu pour une position oblique lorsque le conducteur externe touche la prise de courant. Le ressort de contact f transmet le courant au fil g et au circuit i des lampes par l'intermédiaire de la résistance auxiliaire w. Les conducteurs ll_1 ferment le circuit des lampes sur les accumulateurs par les contacts kk_1.

Le commutateur B qui doit être employé simultanément avec A est muni de quatre contacts disposés de telle sorte que les liaisons 1-2 et 3-4 peuvent être établies séparément ou simultanément ou bien la liaison 2-3 ; au contraire la liaison 1-4 est rendue impossible par la construction même du commutateur ; il suffit par exemple que la distance 1-4 soit différente des distances 3-4, 2-3, 1-2 toutes égales. La figure 2 représente les trois positions possibles du commutateur ; en C la marche par le moyen du conducteur externe et la charge des accumulateurs, en D la marche par le conducteur externe sans charge des accumulateurs, en E la marche par accumulateurs. La pièce de contact du commutateur est formée de deux ponts reliés par une pièce isolante ; dans les positions D et E les extrémités non utilisées du commutateur se logent dans des trous d'arrêt oo. Le conducteur m va du contact 2 au combinateur et le conducteur n va du contact 3 à la borne positive des accumulateurs. Le commutateur sert également de disjoncteur ; voici comment il fonctionne :

Sur la voie à trôlet, le ressort f est en communication avec celui-ci par la pièce d ; le courant du fil extérieur est donc amené par g à la borne

Digitized by Google

4 et par *h* à la borne 1. Lorsque la voiture quitte la voie à fil aérien, le commutateur A se place automatiquement dans la position perpendiculaire ce qui sépare la prise de courant du circuit

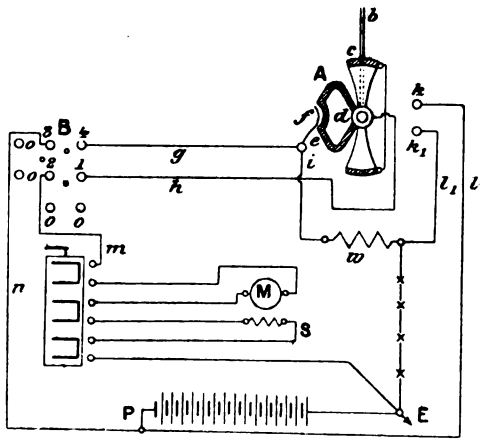


Fig. 1. — Système Siemens et Halske pour traction électrique mixte.

des lampes et de la batterie. Pour que la voiture puisse alors marcher avec les accumulateurs il faut que le combinateur soit directement lié à la batterie. Le mécanicien est forcé d'interrompre la liaison 1-2 et d'établir 2-3. Par cette manœuvre la prise de courant est séparée aussi du combinateur et par suite n'est soumise à aucune tension. Cet isolement est un avantage de la disposition décrite ici sur celles qui sont habituellement uti-

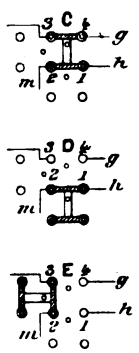


Fig. 2. — Positions possibles du commutateur B.

lisées et dans lesquelles la prise de courant n'est soustraite à la tension que lorsque le commutateur est tourné et reste en tension dans la position perpendiculaire; comme on oublie souvent de tourner le commutateur, le danger n'est pas évité car la prise de courant reste pendant la marche avec le courant de la batterie. Au contraire avec le dispositif Siemens et Halske les fils télégraphiques ou téléphoniques qui tomberaient accidentellement sur le toit de la voiture ne pourraient causer aucun dommage.

La figure 1 montre le schéma du circuit des lampes pour les différentes positions de l'interrupteur A. Au passage de la région à trôlet à celle où agissent les accumulateurs, le mécanicien est averti par l'extinction des lampes s'il a oublié de tourner le commutateur A. La liaison des contacts kk_1 par la pièce *c* ferme le circuit des lampes sur les accumulateurs. G. G.

Frein à courants de Foucault pour moteurs de tramways. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 857, 7 décembre 1899.

Ce frein, employé par la Société Hélios, réunit le freinage électrique au freinage mécanique dans les voitures de tramways.

Nous entreprendrons sa description comme suit : tant que la vitesse de la voiture est grande, le freinage par courants de Foucault agit seul, et le freinage mécanique n'entre en action que lorsque la vitesse étant devenue si faible, les courants de Foucault ne suffisent plus au freinage efficace de la voiture.

Par cette disposition la voiture peut être freinée jusqu'à l'arrêt complet et tout autre freinage peut être supprimé, en particulier celui des roues, ce qui ménage beaucoup les bandages.

Le frein se compose de deux parties principales, l'électro-aimant B et l'induit en fer A (fig. 1 et 2).

L'électro-aimant est fixé au bâti de la voiture, et l'enroulement de ses bobines F est tel, que l'on obtienne alternativement un pôle nord et un pôle sud par le passage du courant.

L'induit est claveté sur l'arbre de telle sorte qu'il tourne avec lui, mais peut en outre se déplacer parallèlement à l'axe. Sur le moyeu de l'induit, mais mobile par rapport à lui, se trouve l'anneau D sur le pourtour duquel sont fixées des pièces E, dont les extrémités glissent dans des coulisseaux obliques de l'anneau C solidement vissé sur l'arbre. L'anneau D est relié aux masses du régulateur Q par les leviers L.

Une variation de vitesse de la voiture, produit par la force centrifuge, un changement de

Digitized by Google

distance des masses du régulateur par rapport à l'axe et communique à l'anneau D une rotation, par laquelle les pièces E prennent une autre position dans les coulisseaux de C, et déplacent l'induit dans une direction axiale (fig. 1 et 2).

Lorsque la vitesse diminue, l'induit se rapproche de l'électro-aimant, lorsqu'elle augmente il s'en éloigne.

Ce déplacement, obtenu par un moyen mécanique, s'ajoute pendant le freinage à l'action

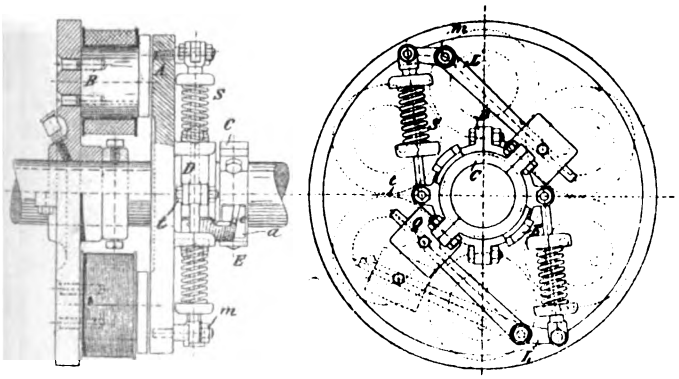


Fig. 1 et 2. — Frein Hélios.

électromagnétique des pôles sur l'induit, action qui agit dans le sens du déplacement lorsque la vitesse diminue et en sens inverse lorsqu'elle augmente.

Ce frein a été employé avec succès pour les voitures du tramway de Lansberg qui ne comportaient qu'un moteur, le second essieu pouvant dans ce cas servir au montage du frein.

Le courant d'excitation de l'électro-aimant est fourni pendant le freinage par le moteur fonctionnant comme générateur, ce qui produit un freinage sur les deux essieux.

Au début du freinage, c'est-à-dire lorsque la vitesse de la voiture est grande, le voltage du moteur est très élevé, par suite le courant d'excitation du frein également. Lorsque la vitesse tombe par le freinage le courant d'excitation diminue, mais en même temps l'induit se rapproche des pièces polaires, l'entrefer devient plus faible ainsi que la résistance magnétique, ce qui produit un freinage sensiblement constant.

Finalement, lorsque les courants de Foucault sont devenus très faibles, l'induit s'applique sur l'électro-aimant et le frottement mécanique agit avec les courants de Foucault pour arrêter le mouvement. P. D.

RECHERCHES THÉORIQUES

Conductibilité calorifique, conductibilité électrique, chaleur spécifique et pouvoir thermoélectrique de quelques métaux, par **W. Jæger et H. Diesselhorst**. *Sitzber. der Ak der Wissenschaften. Berlin*, 1899 (communiqué par les auteurs).

F. Kolbrausch a indiqué une méthode de détermination directe du rapport $\frac{\lambda}{\varkappa}$ de la conductibilité électrique $\varkappa$ à la conductibilité calorifique λ d'un même métal. On fait passer dans le conducteur supposé homogène un courant électrique et, quand la température a atteint son état stationnaire, on mesure les températures U_1, U_2, U_3 en trois points et les potentiels v_1, v_2, v_3 aux mêmes points. Si on néglige la conductibilité du milieu ambiant, on a :

$$\frac{1}{\chi} = \frac{1}{2}\,\frac{(v_1 - v_2)\,(v_2 - v_3)\,(v_3 - v_1)}{U_1\,(Uv_1 - v_2) + U_2\,(v_3 - v_1) + U_3\,(v_1 - v)_2}$$

Les auteurs ont réalisé les expériences en se servant de conducteurs cylindriques. U_1 est approximativement égal à U_3 et $v_1 - v_2$ à peu près égal à $v_2 - v_3 = V$.

Dans ce cas, la formule se réduit à :

$$\frac{\lambda}{\chi} = \frac{1}{2}\,\frac{v_2}{U}$$

si on pose pour abréger

$$U = U_2 - \frac{1}{2}\,(U_1 + U_3)$$

Si le potentiel est exprimé en volts, λ est exprimé en watts.

Par suite de la conductibilité du milieu ambiant, la valeur de U doit être affectée d'une correction u' et la différence de température Δ qu'il faut introduire dans la formule est $\Delta = U + u'$.

Pour calculer u', on se sert de l'équation du régime variable,

$$c\,s\,\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\,\frac{\partial u}{\partial x}\right) + \varkappa\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 - \frac{hp}{q}\,(u - u_0)$$

dans laquelle t désigne le temps, c la chaleur spécifique, s la densité, q la section et p le contour du barreau, u_0 la température ambiante ;

Digitized by Google

l'axe des x est l'axe du cylindre ; $x\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 = L$ est l'énergie apportée par le courant dans un centimètre cube, $\frac{hp}{q}(u - u_0)$, l'influence de la conductibilité superficielle, h étant la conductibilité extérieure par cm² de la surface : l'unité de quantité de chaleur est l'équivalent du watt-seconde.

Pendant l'état stationnaire $\left(\frac{\partial u}{\partial t} = 0\right)$, on obtient, en tenant compte seulement de la première puissance de h, $u' = \varepsilon N$, en appelant ε une constante proportionnelle à h et N, l'expression, $u_0 - \left(u_2 - \frac{1}{6}\Delta\right)$, qu'on peut faire varier à volonté en faisant varier les conditions expérimentales. De la différence de température observée $\Delta = u_2 - \frac{1}{2}\left(u_1 + u_3\right)$, on déduit la différence vraie, c'est-à-dire celle qu'on obtiendrait s'il n'y avait pas de chaleur cédée au milieu ambiant, $U = \Delta - \varepsilon N$.

D'autre part, la valeur observée Δ est une fonction linéaire de N et U la valeur de cette fonction pour $N = O$. Ou bien, on fait $N = o$, c'est-à-dire qu'on choisit la température extérieure définie par la relation $u_0 = u_2 - \frac{1}{6}\Delta$; ou bien, on détermine U par interpolation, en déterminant Δ pour deux valeurs de N à peu égales, mais l'une positive, l'autre négative.

Enfin, on peut aussi se servir d'une expérience faite sans le courant pour déterminer ε ; on a dans ce cas, $U = o$ et $\varepsilon = \frac{\Delta}{N}$. Plusieurs observations sont faites ainsi sans courant, avec des valeurs différentes, afin de vérifier que la chaleur cédée au milieu extérieur est proportionnelle à la différence de température.

Dans l'équation ci-dessus, λ et $\varkappa$ sont considérées comme des fonctions de la température ; si on admet que ce sont des fonctions linéaires ce qui est légitime dans un petit intervalle, la valeur de $\frac{\lambda}{\varkappa}$ déterminée de la manière indiquée ci-dessous correspond à la température moyenne $\left(u_2 - \frac{1}{2}\Delta\right)$, tandis que la conductibilité électrique, déterminée par la mesure des différences de potentiel et de l'intensité correspond à la température $\left(u_2 - \frac{1}{3}\Delta\right)$.

Les expériences ont été effectuées sur le zinc, l'étain, le plomb, le cuivre, le cadmium, le bismuth, le nickel, l'aluminium, l'argent, l'or, le platine, le palladium, tous ces métaux se trouvant dans l'état pur le plus rigoureux qu'on puisse réaliser.

Les barreaux avaient, en général, une longueur de 27 cm et un diamètre de 1 à 2 cm, suivant leur conductibilité. En leur milieu et en deux points situés de part et d'autre à 9 cm de ce milieu, ils portaient des trous d'environ 0,5 mm de diamètre. Les extrémités sont appliquées exactement sur des joues de cuivre, qui sont maintenues dans un bain d'eau dont la température est constante à quelques centièmes de degré près. Afin que la température ambiante soit bien définie, le barreau est entouré d'une enveloppe de cuivre à doubles parois, dans laquelle circule de l'eau à différentes températures ou de la vapeur. Entre l'enveloppe et le barreau se trouve du coton, pour empêcher le transport de chaleur par convection.

En général, la différence de température entre le milieu et les extrémités du barreau est de quelques degrés : la différence de potentiel correspondante d'environ 0,01 volt : l'intensité du courant de 25 à 350 ampères.

On prend la température au moyen de couples thermo-électriques fer-constantan, dont l'une des soudures est placée dans le trou du barreau. Ces couples sont au préalable étalonnés, par comparaison avec des thermomètres normaux étudiés à la Reichsanstalt. Leur force électromotrice est représentée en fonction de la température par la formule :

$$\frac{de}{dt} = 52{,}25 + 0{,}0560\,t - 0{,}000183\,t^2 \text{ microv.}$$

Dans les expériences faites aux températures voisines de la température ordinaire, on fait varier N en changeant la température de la double enveloppe et laissant celle des bains extrêmes constante : dans les expériences faites à 100°, c'est l'inverse.

Les métaux employés ne renfermaient pas plus d'un millième d'impuretés.

Même pour les métaux les plus purs, le rapport $\frac{\lambda}{\varkappa}$ n'a pas des valeurs égales. De plus, il croît quand la température s'élève, d'environ 2 à 4 millièmes par degré et ce coefficient de variation est en général d'autant plus grand que le rapport est lui-même plus petit.

Digitized by Google

Dans les métaux très purs dont le coefficient de température est en moyenne de 0,004, la conductibilité calorifique est à peu près indépendante de la température; dans les alliages, le coefficient de température est beaucoup moindre et la conductibilité calorifique croît avec la température.

La variation de $\frac{\lambda}{\varkappa}$ dans le constantan est due entièrement à la variation de la conductibilité calorifique, puisque la conductibilité électrique est indépendante de la température.

En général, les résultats concordent d'une manière satisfaisante avec ceux de Lorenz, si on tient compte des différences de méthode et des différences de nature des substances.

Certaines théories relient directement le pouvoir thermo-électrique des métaux au rapport $\frac{\lambda}{\varkappa}$. Ces pouvoirs thermo-électriques ont été déterminés et comparés à ceux qu'on calcule par la théorie de Liebenow : l'accord est dans certains cas très bon, mais il se trouve aussi des résultats incompatibles.

Pour déterminer la capacité calorifique, on réalise un état d'équilibre sans le courant (ou avec le courant), on établit ensuite (ou on supprime) le courant et on détermine la variation initiale de la température $\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)_{t=0}$. Au début on a, en effet,

$$cs\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)_{t=0} = \mathrm{L}$$

Pour déterminer la température initiale, on dispose un galvanomètre dans le circuit de l'élément thermo-électrique et on note la marche de l'aiguille sur un galvanomètre. La vitesse de variation $\frac{\partial u}{\partial t}$ reste constante pendant un temps suffisant pour qu'on puisse la déterminer directement, sauf avec le cuivre et l'argent.

Les chaleurs spécifiques trouvées ainsi ne s'écartent pas des valeurs obtenues avec le calorimètre à vapeur de Jolly. M. L.

Diffusion des rayons cathodiques dans différents gaz, par **W. Kaufmann.** *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 95-118, septembre 1899.

Goldstein (1) a établi que des rayons secondaires prennent naissance sur les molécules gazeuses frappées par les rayons cathodiques, sans se prononcer sur la nature des rayons secondaires. Cependant d'après les propriétés qu'il leur a trouvées, il est très vraisemblable que ces rayons sont de même nature que ceux dont ils proviennent : le phénomène mériterait donc le nom de diffusion des rayons cathodiques sur les molécules gazeuses.

Kaufmann a étudié ce phénomène quantitativement, en employant la méthode de mesure indiquée par Perrin (1).

Les parties essentielles de l'appareil sont représentées par la figure 1.

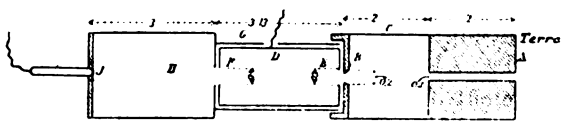


Fig. 1.

A, bloc de laiton servant d'anode, percé d'un canal par lequel passent les rayons cathodiques, ce bloc est relié au sol. — B, diaphragme relié à A par le tube métallique C. — D, cylindre de laiton présentant deux ouvertures E et F, sur son axe. — H, tube fermé par le disque d'aluminium J. — G, cylindre métallique servant de support à D dont il est isolé par une feuille de mica. — B, est aussi isolé de D et de G par du mica.

Le canal étroit percé dans le bloc A a pour but de séparer les rayons cathodiques de tout courant de conduction; le cylindre D est celui qui

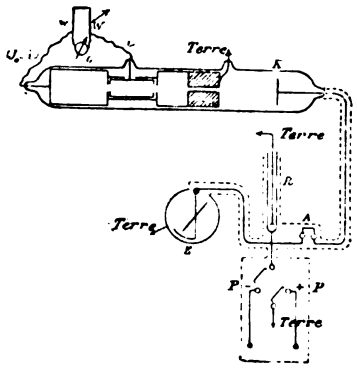


Fig. 2.

P, P, pôles de la machine à influence. — E, électromètre de Braun. — R, résistance à iodure de cadmium. — A, interrupteur. — K, cathode pénétrant dans le tube à décharges qui enveloppe tout l'appareil de la figure 1. — ....., enveloppe métallique formant écran : — w, rhéostat à chevilles. — W, autre rhéostat. — G, galvanomètre Desprez-d'Arsonval.

sert en réalité à mesurer la diffusion. La figure 2 représente l'ensemble des liaisons électriques.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 226.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 377.

Digitized by Google

Si J_0 est l'intensité totale du courant cathodique qui entre dans le tube, i le courant dû aux rayons diffusés qui atteignent les parois du cylindre D, l'équilibre du galvanomètre correspondra à la condition :

$$\frac{i}{J_0 - i} = \frac{w}{W}.$$

La quantité de rayons diffusés varie suivant une fonction exponentielle de la distance; par conséquent, pour un faisceau de section infiniment petite

$$i = J_0 (a - e^{l-b}),$$

J_0 étant l'intensité du faisceau à l'entrée dans le cylindre, l la longueur de ce cylindre; b sera le coefficient de diffusion.

Pour le faisceau tout entier :

$$i = J_0 \frac{b}{4\pi} \int_{x1}^{x2} \omega_x l^{-bx} dx,$$

ω_x étant l'angle solide sous lequel la section du tube est vue du point dont l'abscisse est x.

Les limites de l'intégrale sont : x_1, abscisse du point le plus éloigné du côté de la cathode, d'où on puisse voir encore la paroi intérieure du cylindre et x_2 qui est égal à $x_1 + l$.

Il est donc aisé de calculer ces limites en fonction des dimensions de l'appareil. Mais, il est clair que le terme principal est représenté par l'intégrale prise entre o et l, les autres termes n'étant que des corrections.

En limitant la précision du calcul à 2 p. 100 on peut simplifier beaucoup l'intégration et l'effectuer sans recourir aux développements en série.

Les mesures ont été effectuées sur cinq gaz : Az^2, CO^2, CO, H^2, AzO. Si V désigne la différence de potentiel entre les électrodes, p la pression du gaz, on trouve qu'au-dessus de 3 500 volts, le quotient $\beta = \frac{bV}{p}$ est à peu près constant et a pour valeur :

	Az^2	CO^2	CO	H^2	AzO
β =	5650	6830	6380	730	6900.

La valeur de ce rapport n'est pas en relation simple avec le poids moléculaire; cependant il est à remarquer que pour les trois premiers gaz, le quotient de β par le produit du poids moléculaire M_0 et du rayon ρ des molécules est à peu près le même :

	β.	M_0	$2\rho.10^9$.	$\frac{\beta}{2 M \rho_0 10^9}$
Az^2	5650	28	17	11,85
CO^2	6830	44	13	11,95
CO	6380	28	19	11,60

Kaufmann cherche à interpréter ces résultats dans la théorie de l'émission. Il admet que la diffusion des rayons cathodiques est due au choc des particules cathodiques sur les molécules gazeuses et l'absorption à l'énergie perdue par les particules à la suite de ce choc.

La vitesse de translation des molécules gazeuses n'est guère que la 50 000e partie de celle des particules cathodiques : on peut donc faire abstraction du déplacement des premières. En admettant qu'entre les molécules et les particules s'exerce une attraction

$$h M m f(r)$$

h étant une constante, $f(r)$ une fonction de la distance r de la molécule et de la particule considérée, on trouve pour le coefficient de diffusion b l'expression :

$$b = N\pi\rho^2 + \pi \frac{m}{\Sigma} \frac{h.895.10^{-7}}{V} \rho^2 \int_x^{\rho} f(r) dr.$$

Dans cette expression, N représente le nombre des molécules contenues dans un centimètre cube de gaz, ρ le rayon de la molécule, m la masse de la particule cathodique, ε sa charge électrique, V la différence de potentiel entre les électrodes.

Pour mettre d'accord ce résultat avec la loi expérimentale trouvée :

$$b = \frac{M_0 p}{V} C \times \text{const.}$$

il faudrait supposer $f(r) = \frac{1}{r^2}$ et le premier terme $N\pi\rho^2$ négligeable, hypothèses peu probables; en fait $N\pi\rho^2$ calculé d'après la théorie cinétique des gaz est plus grand que les valeurs de b observées.

Si, d'autre part, on considère M comme très grand vis-à-vis de m, le coefficient d'absoption a pour valeur théorique :

$$a = 2b \frac{m}{M}.$$

Digitized by Google

d'où :

$$\frac{m}{M} = \frac{a}{2b}.$$

Dans le cas où b et M seraient proportionnels au poids moléculaire, en a serait indépendant, ce qui est en contradiction avec les expériences de Lenard.

En calculant M dans l'hypothèse où ε serait égal à la charge d'un ion, on trouve par le rapport de M à la masse M_{Az} de l'atome d'azote :

$$\frac{M}{M_{Az}} = 2{,}7.10^{-3}$$

M pourrait être, d'après cela, la masse d'un « atome élémentaire » qui serait les 0,038 de la masse de l'atome d'hydrogène ; m serait les 0,00053 de cette dernière. M. L.

Courants de convection et chute de potentiel aux électrodes provoqués par les rayons X, par **J. Zeleny**. *The Physical Review*, t. VIII, p. 161-173, résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. VIII, p. 685, décembre 1899.

Pendant la conduction à travers un gaz traversé par les radiations de Rœntgen, des courants de convection se produisent qui entraînent généralement le gaz vers les électrodes. Ces courants sont causés par le mouvement des charges libres qui existent dans le gaz. La chute de potentiel qui en résulte s'étend à une couche de gaz épaisse de 1/10 de millimètre, au voisinage des électrodes. Enfin la force électrique agissant sur les électrodes est accrue par l'exposition du gaz aux rayons Rœntgen.

Expériences de diffraction et détermination de la longueur d'onde des rayons de Rœntgen, par **M. Maier**. *Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 903-916, août 1899.

M. Maier a fait de nombreux essais pour obtenir la diffraction des rayons de Rœntgen en leur faisant traverser une fente étroite. Toutes ces tentatives effectuées avec des tubes nombreux de construction très diverses, sont restées infructueuses. Il n'a pas eu plus de succès en employant un réseau de Schwerd, formé de fils métalliques fins.

Les expériences les plus nombreuses et les plus complètes sont celles où Maier a employé la méthode de Fomm. La fente diffringente est limitée par deux droites parallèles : la source supposée homogène est une droite parallèle aux précédentes, symétriquement placée par rapport à la fente. Sur un écran parallèle à la fente, on observe alors trois systèmes de franges ; deux sont extérieurs à l'image géométrique, l'autre est intérieur. Pour des distances déterminées de la source, de la fente et de l'écran et une largeur déterminée de la fente, une frange noire apparaît au centre de l'image géométrique : c'est le premier minimum ; si on élargit la fente, ce minimum est remplacé par un maximum et ainsi de suite. La longueur d'onde λ se déduit de la formule :

$$y = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{a+b}{ab} r^2$$

y est un nombre entier, a la distance de la source à la fente, b celle de la fente à l'écran, $2r$ la largeur de la fente.

Ce dispositif appliqué aux rayons de Röntgen émis par divers tubes focus n'a donné aucune trace de diffraction. Le résultat a été également négatif quand les rayons devaient traverser un milieu fluorescent ou absorbant.

C'est seulement avec des tubes de Crookes ou des tubes de Hittorf, cylindriques, que Maier a obtenu dans l'image de la fente la ligne noire répondant au premier minimum.

D'après la formule ci-dessus :

$$\lambda = 0{,}015\ \mu\mu$$

dans un cas :

$$\lambda = 0{,}0153\ \mu\mu.$$

Ce nombre est très voisin de la limite inférieure de λ donnée ci-dessus par Haga et Wind. La position du minimum n'est pas du tout altérée quand on fait passer les rayons dans un champ à haute fréquence.

Maier a tenté aussi une expérience de diffraction avec les rayons secondaires de Sagnac ; mais le rayonnement était trop faible, même pour produire une image nette de la fente.

M. L.

Digitized by Google

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

Disparition instantanée de la polarisation rotatoire magnétique, par **H. Abraham** et **J. Lemoine.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 499-502.

Les auteurs ont appliqué à l'évaluation de la durée de disparition de la polarisation rotatoire magnétique la méthode qui leur a servi pour montrer que le phénomène de Kerr disparaît en moins de un cent-millionième de seconde et à évaluer la durée d'établissement de l'étincelle électrique(1).

Le dispositif expérimental est le suivant : un circuit reliant les deux pôles d'un transformateur à haut voltage contient un condensateur ; une résistance liquide et un solénoïde formé de 25 spires d'un fil de 0,7 mm de diamètre ; en dérivation sur ce circuit se trouve un déflagrateur entre les électrodes duquel jaillissent les étincelles de décharge du condensateur. La lumière de ces étincelles, polarisée par un nicol, traverse un tube de 16 cm de long, 1 cm de diamètre extérieur et 1 mm d'épaisseur fermé à ses extrémités par des glaces normales à l'axe, rempli de sulfure de carbone et placé à l'intérieur du solénoïde ; elle traverse ensuite un prisme biréfringent et un nicol analyseur servant à mesurer la rotation du plan de polarisation.

Dans une expérience, la résistance liquide (sulfate de cuivre) avait une résistance de 1 ohm, le condensateur une capacité de 9 unités électrostatiques. On trouva que la double rotation du nicol était de 4°,5 quand l'étincelle du déflagrateur était à 0,20 du tube à sulfure de carbone, de 2°3 quand cette distance atteignait 2,60 cm et enfin inappréciable quand la distance dépassait 6 m. La polarisation rotatoire diminue donc de moitié pendant le temps mis par la lumière pour parcourir 2,4 m, soit en un centième de micro-seconde. Or, comme les auteurs le faisaient remarquer dans leur dernière note, ce temps comprend à la fois la durée d'établissement de l'étincelle, la durée de la décharge et le retard possible de la polarisation rotatoire sur le courant. Ils en concluent donc que *la polarisation rotatoire magnétique n'a pas un cent-millionième de seconde de retard sur le courant* (1).

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 349, 2 septembre 1889, et t. XXII, p. 238, 10 février 1900.

Rapport entre la variation d'excitation des nerfs et la variation de densité des courants excitateurs à différents potentiels, par **Stéphane Leduc.** *Comptes rendus*, t. XXX, p. 524-527.

L'auteur a mesuré l'amplitude des contractions des nerfs moteurs de l'homme excité, d'abord par un courant interrompu de tension aussi basse que possible et ensuite par les courants d'une petite bobine d'induction, la densité du courant ayant dans chacun de ces cas deux valeurs différentes. Il a trouvé que pour la même tension l'amplitude croît avec la densité du courant et que cet accroissement est beaucoup plus grand avec le courant de haute tension qu'avec celui de basse tension.

Des résultats semblables ont été obtenus en provoquant l'excitation d'abord par une bobine d'induction à circuit secondaire en gros fil puis une bobine à circuit secondaire en fil fin, donnant par suite une tension plus grande que la première, l'intensité du courant inducteur étant dans chaque cas modifié au moyen d'un rhéostat.

M. Leduc conclut donc que, *pour une même variation de densité du courant excitateur dans le nerf, la variation correspondante de l'excitation* (augmentation ou diminution) *est d'autant plus grande qu'elle s'effectue sous une tension plus élevée, d'autant moindre que le courant excitateur a une tension plus faible.*

Cette constatation explique quelques-uns des phénomènes observés en excitant les nerfs de l'homme avec les courants électriques ; elle révèle les relations de ces phénomènes entre eux ; elle donne aux médecins des raisons scientifiques pour choisir le courant à employer suivant le but à atteindre.

(1) Les auteurs font remarquer que cette limite est un peu moins bonne que celle trouvée pour le phénomène de Kerr. Mais cela peut provenir de ce que le solénoïde augmente la durée de la décharge. Et en effet en intercalant ce même solénoïde dans le circuit de décharge d'un condensateur de Kerr on trouvait le même amortissement pour les deux mesures électrooptiques. Cette dernière coïncidence rend alors très vraisemblable que : *La polarisation rotatoire magnétique et le phénomène de Kerr suivent sans aucun retard les variations des champs qui les produisent.*

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 10 Mars 1900. 7e Année. — N° 10

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

EXPRESSION DE LA PUISSANCE

AVEC LA MÉTHODE DES IMAGINAIRES DE M. STEINMETZ

Dans l'analyse du mémoire de M. Steinmetz sur « l'introduction des grandeurs complexes en électrotechnique (1) », nous avons signalé le défaut de cette méthode en ce qui concerne l'expression de la puissance, défaut passé du reste sous silence par l'auteur.

Dans un mémoire suivant (2), M. Steinmetz donne l'expression de la puissance consommée dans un circuit traversé par un courant alternatif représenté, ainsi que la tension aux bornes, sous forme d'expressions imaginaires, sans toutefois insister autrement sur ce point. Ce n'est que dans un tout récent mémoire (3) que le savant ingénieur propose une représentation par une expression complexe de la puissance apparente d'un circuit, généralisant ainsi la méthode donnée par lui et arrivant au calcul de la puissance réelle dans un circuit.

La genèse de cette généralisation paraît résider dans la considération, d'ailleurs déjà ancienne, de la puissance dite d'excitation, produit de la tension par l'intensité du courant en quadrature avec celle-ci, puissance que l'auteur appelle avec raison la puissance déwattée.

Si l'on cherche à représenter graphiquement les puissances apparentes, la puissance

(1) Voir notre article sur « La méthode de M. Steinmetz pour le calcul des courants alternatifs », *Lumière électrique*, t. LI, p. 451, 1893.

(2) Voir notre étude sur « La théorie générale des transformateurs de M. Steinmetz ». *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 97, 1896.

(3) *Transactions of the American Institut of Electrical Engineers*, vol. XVI, p. 289, juin 1899.

Digitized by Google

réelle et la puissance dévattée, on obtient un triangle rectangle dont l'un des angles aigu est égal au décalage entre la tension et le courant; ce triangle est évidemment semblable à celui bien connu des tensions : tensions aux bornes, perte ohmique et force contre-électromotrice de self-induction.

La considération de ce triangle permet d'arriver immédiatement à la décomposition de la puissance apparente en une composante dite wattée qui est la puissance vraie absorbée par le circuit, et en une composante dévattée. La représentation de la puissance apparente sous forme d'une expression complexe est donc intuitive.

Comment peut-on déduire les expressions des deux composantes des volts-ampères, ou l'expression sous forme de quantité imaginaire de ceux-ci, en partant des expressions imaginaires du courant et de la tension ? M. Steinmetz donne le procédé suivant :

Considérons un circuit aux bornes duquel est appliquée une tension

$$\overline{E} = e + je' , \tag{1}$$

produisant un courant

$$\overline{I} = i + ji' , \tag{2}$$

où j est le symbole des quantités imaginaires.

Le produit

$$\overline{E}\,\overline{I} = ei - e'i' + j(e'i + ei') , \tag{3}$$

n'est pas la puissance, et la meilleure raison qu'on puisse donner de l'illégitimité de cet calcul est que le produit précédent est un vecteur de même fréquence que $\overline{E}$ et $\overline{I}$ et ne peut, par suite, représenter une puissance qui est un vecteur de fréquence double de $\overline{E}$ e de $\overline{I}$.

Mais puisque la puissance est une quantité de fréquence double de $\overline{E}$ et de $\overline{I}$, l'angle de phase de la puissance est 2ω au lieu de ω et l'on peut chercher la valeur de ce produit formé en doublant l'angle de phase.

Algébriquement on a :

$$\overline{E}\,\overline{I} = (e + je')(i + ji') = ei + j^2e'i' + (je'i + eji') ; \tag{4}$$

comme $j^2 = -1$ correspond à une rotation de 180° de $\overline{E}$ et $\overline{I}$, $j^2 = 1$ doit, si l'on double la fréquence, correspondre à une rotation de 360° et l'on doit avoir :

et

$$\left.\begin{aligned} &j^2 = 1 , \\ &j \times 1 = -j \\ &i \times j = -j. \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

En substituant ces valeurs dans (4) on obtient :

$$P = [\overline{E}\,\overline{I}] = ei + e'i' + j(e'i - ei') , \tag{6}$$

le symbole $[\overline{E}\overline{I}]$ indiquant la transformation de fréquence.

Au point de vue mathématique, le calcul précédent n'a pas une rigueur satisfaisante, car il est sujet à quelques objections; en outre il a l'inconvénient d'introduire une restriction ennuyeuse : l'interversion de deux facteurs pouvant changer le signe du produit.

Comme en somme c'est le résultat seul qui nous intéresse, nous ne nous arrêterons pas à ces considérations et nous donnerons une règle simple, de caractère purement mnémonique, dont nous nous servons personnellement dans l'application de la méthode de Steinmetz, pour trouver facilement les expressions des composantes de la puissance

Digitized by Google

apparente. Cette règle, si elle n'est pas justifiable physiquement, a toutefois sur la méthode de M. Steinmetz un avantage sérieux, c'est que la valeur de j reste égale à $\sqrt{-1}$ et qu'aucune restriction n'est faite sur les règles ordinaires du calcul des quantités complexes.

La règle en question consiste tout simplement à changer le signe de l'argument de l'imaginaire représentant l'une des quantités périodiques $\overline{E}$ ou $\overline{I}$ considérées, de préférence celle dont on considère le décalage par rapport à l'autre, c'est-à-dire ici le courant

Bien qu'à la rigueur la fin justifie les moyens, on peut expliquer facilement la raison d'être de cette règle. Pour cela, mettons en évidence les arguments des fonctions complexes et posons

$$\left.\begin{aligned}\overline{E} &= E'(\cos\omega + \sqrt{-1}\sin\omega)\\ \overline{I} &= I'(\cos\omega' + \sqrt{-1}\sin\omega').\end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Le produit $\overline{E}\overline{I}$ a pour valeur :

$$\overline{E}\,\overline{I} = E'I'[\cos(\omega+\omega') + \sqrt{-1}\sin(\omega+\omega')] \quad (8)$$

Comme nous cherchons en réalité à obtenir la différence des arguments au lieu de leur somme, on voit qu'il suffit pour cela de remplacer l'expression de I par celle obtenue en y changeant ω' en $-\omega'$, ce qui mathématiquement revient encore à changer le signe du coefficient de $\sqrt{-1}$ dans l'expression de $\overline{I}$. Nous avons donc

$$[\overline{E}\,\overline{I}] = E'I'.[\cos(\omega-\omega') + \sqrt{-1}\sin(\omega-\omega')]. \quad (9)$$

En somme, pour la détermination de l'expression complexe de la puissance apparente, nous substituons à l'expression complexe de $\overline{I}$ son expression conjuguée.

Cette règle, tout en n'entraînant aucune restriction des règles connues pour le calcul des imaginaires, est aussi générale que celle de M. Steinmetz, car si nous considérons la tension comme décalée par rapport au courant, nous avons à changer le signe du coefficient de $\sqrt{-1}$ dans l'expression complexe de la tension, ce qui conduit au résultat suivant :

$$\overline{P} = [\overline{I}\,\overline{E}] = I'E'[\cos(\omega'-\omega) + \sqrt{-1}\sin(\omega'-\omega)], \quad (10)$$

expression identique à celle qu'obtient M. Steinmetz et qui est, en conservant ses notations :

$$[\overline{I}\,\overline{E}] = (ei + e'i') - \sqrt{-1}(e'i - ei'). \quad (11)$$

Pour simplifier, nous pourrons, avec M. Steinmetz, désigner les composantes de la puissance apparente par des symboles conventionnels, la puissance vraie, composante wattée de la puissance apparente, sera :

$$ei + e'i' = [\overline{E}\,\overline{I}]_1 = P_1, \quad (12)$$

et la puissance déwattée

$$e'i - ei' = [\overline{E}\,\overline{I}]_j = [EI]_{\sqrt{-1}} = P = \sqrt{-1} \quad (13)$$

Tout comme avec la règle de M. Steinmetz, nous ne pourrons égaler les deux expressions

$$[\overline{E}\,\overline{I}] \text{ et } [\overline{I}\,\overline{E}],$$

car nous aurons comme lui

$$[\overline{E}\,\overline{I}]_1 = [\overline{I}\,\overline{E}]_1 \quad (14)$$

$$[\overline{E}\,\overline{I}]_{\sqrt{-1}} = -[\overline{I}\,\overline{E}]_{\sqrt{-1}} \quad (15)$$

Digitized by Google

En résumé, on voit que l'expression complexe $\overline{E}\overline{I}$, avec la convention annoncée de la considération de l'expression conjuguée de l'une des quantités $\overline{E}$ ou $\overline{I}$, représente encore comme avec le courant continu la *puissance* d'un circuit, mais cette puissance est apparente et se décompose en deux composantes, l'une, la puissance vraie ou wattée, et l'autre, la puissance déwattée ou d'excitation ; absolument comme la loi d'Ohm se trouve encore vérifiée si l'on regarde la résistance comme la somme de deux composantes en quadrature, l'une étant la résistance ohmique du circuit et l'autre l'inductance ou la réactance du circuit.

L'expression (9) montre que le décalage entre la puissance apparente et la puissance vraie n'est autre que celui entre la tension et le courant ; l'égalité (15) signifie que si physiquement la puissance déwattée est en retard par rapport à la tension, elle est au contraire en avance par rapport au courant.

Grâce à notre règle, il est inutile de démontrer que l'on a bien :

$$Q^2 = (\overline{E}\,\overline{I})^2 = [\overline{E}\,\overline{I}]_1^2 + [\overline{E}\,\overline{I}]_{\sqrt{-1}}^2,$$

cette égalité étant évidente d'après la règle du calcul des imaginaires.

Si l'on introduit les arguments dans l'expression complexe de la puissance on a

$$\overline{P} = Q(\cos\omega + \sqrt{-1}\sin\omega),$$

cos ω est le facteur de puissance et sin ω le facteur d'inductance, expression introduite nouvellement dans le langage technique et adoptée déjà par la commission de l'American Institut of Electrical Engineers dans le rapport sur la réglementation des essais des dynamos, moteurs et transformateurs, que nous avons signalé il y a quelques mois (1).

Avant d'aborder un exemple, il n'est pas inutile d'indiquer brièvement quelques propriétés intéressantes et d'ailleurs presque évidentes résultant des calculs précédents.

Remarquons tout d'abord que la puissance déwattée sera nulle et par suite la puissance apparente égale à la puissance vraie si l'on a :

$$[\overline{E}\,\overline{I}]_{\sqrt{-1}} = e'i - ei' = 0,$$

ou

$$\frac{e'}{e} = \frac{i'}{i}$$

c'est-à-dire si E et I sont en coïncidence de phase ou en opposition.

La puissance vraie sera nulle ou contraire si l'on a :

$$[\overline{E}\,\overline{I}]_1 = ei + e'i',$$

ou

$$\frac{e'}{e} = -\frac{i}{i'}.$$

c'est-à-dire si E et I sont en quadrature.

La puissance déwattée sera en retard par rapport à E ou en avance par rapport I, ou encore fournie par la source d'énergie si

$$[\overline{E}\,\overline{I}]_{\sqrt{-1}} > 0$$

(1) Voir notre article : « A propos de la réglementation américaine des essais électriques ». *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 76, 21 octobre 1899.

Digitized by Google

et, au contraire, fournie par l'appareil récepteur si

$$[\bar{E}\,\bar{I}]_{\sqrt{-1}} < o$$

La puissance vraie sera négative, c'est-à-dire sera renvoyée à la source d'énergie ou fournie par l'appareil récepteur, si

$$[\bar{E}\,\bar{I}]_1 < o$$

On a évidemment

$$[\overline{E} - \overline{I}] = [-\bar{E}\,\bar{I}] = -[\bar{E}\,\bar{I}]$$
$$[-\bar{E} - \bar{I}] = +[\bar{E}\,\bar{I}]$$

Finalement, si une même source fournit l'énergie réelle et déwattée à plusieurs appareils récepteurs, la puissance apparente totale fournie par la source s'obtient par la sommation de toutes les puissances réelles d'une part et déwattées de l'autre, comme l'indique la règle d'addition et de soustraction des quantités imaginaires. Ainsi l'on a :

$$\overline{P} = \overline{P}^1 + \overline{P}^2 + \ldots,$$

où

$$\bar{P}_1 = P_1^1 + P_1^2 + \ldots.$$
$$P_{\sqrt{-1}} = P^1_{\sqrt{-1}} + P^2_{\sqrt{-1}} + \ldots,$$

les P_1 et $P_{\sqrt{-1}}$ étant des quantités positives ou négatives suivant le cas considéré plus haut, en particulier les puissances déwattées peuvent se compenser par les procédés connus (condensateurs, moteurs synchrones).

Comme exemple d'application de la méthode précédente, M. Steinmetz considère le cas de deux moteurs asynchrones montés en cascade et couplés mécaniquement.

Il nous faut d'abord chercher l'expression du couple d'un moteur asynchrone en général. Comme la puissance, le couple est une fonction périodique de fréquence double du flux et du courant et peut par suite être traité de la même manière et représenté sous forme de quantité complexe et sans terme réel.

Dans un moteur d'induction, le couple à chaque instant est le produit du flux à l'instant considéré, dirigé suivant une direction déterminée, par la composante du courant secondaire instantané suivant une direction perpendiculaire à la première, et par le nombre de spires secondaires. Comme la force électromotrice induite est décalée dans le temps d'un quart d'onde par rapport au flux et proportionnelle à ce flux et au nombre de spires, il en résulte que le couple à chaque instant est aussi le produit de la force électromotrice par la composante du courant secondaire en quadrature avec elle à la fois dans l'espace et dans le temps, ou encore le produit du courant induit par la composante de la tension induite en quadrature avec lui dans l'espace et dans le temps.

Si

$$\bar{E} = e + \sqrt{-1}\,e' \;,\; \bar{I} = i + \sqrt{-1}\,i'$$

représente respectivement la tension induite et le courant secondaire en quadrature dans l'espace, le couple sera évidemment

$$C = [\bar{E}\,\bar{I}]_{\sqrt{-1}} = e'i - ei'$$

Le couple est ici exprimé en watts, et par suite, par le travail que le moteur produirait

Digitized by Google

avec ce couple à la vitesse du synchronisme, ce qu'on peut exprimer en disant que le couple est évalué en watts au synchronisme.

L'expression normale du couple est $\frac{C}{\frac{2\pi}{T}p}$, p étant le nombre de paire de pôles.

$$C =$$

Ceci posé, revenons à notre exemple. Le glissement du premier moteur étant g, sa vitesse en pour cent de celle du synchronisme est $1 - g$ et la fréquence des courants dans le secondaire est $g \times \frac{1}{T}$; comme le second moteur tourne à la même vitesse que le premier, la fréquence des courants induits dans le secondaire du second moteur est :

$$g\frac{1}{T} - (1-g)\frac{1}{T} = (2g-1)\frac{1}{T}$$

Désignons par e la force contre-électromotrice dans le secondaire du second moteur pour la pleine fréquence ; et soit comme d'habitude

$R_1 = r_1 + s_1\sqrt{-1}$ l'impédance de fuite du primaire
$R_2 = r_2 + s_2\sqrt{-1}$ l'impédance de fuite du secondaire
$P = \rho - \sigma\sqrt{-1}$ l'admittance primaire où il est tenu compte des pertes par courants de Foucault et hystérésis :

toutes ces quantités étant réduites à la fréquence normale et au circuit primaire par le rapport du nombre de spires. Nous avons pour le second moteur :

Tension induite secondaire

$$\overline{E'_2} = e(2g-1) ;$$

Courant secondaire ramené au primaire

$$\overline{I_2} = \frac{e(2g-1)}{r_2 + (2g-1)s_2\sqrt{-1}} = e(a_1 + a_2\sqrt{-1}),$$

où

$$a_1 = \frac{(2g-1)r_2}{r_2^2 + (2g-1)^2 s_2^2}, \quad a_2 = -\frac{(2g-1)^2 s_2}{r_2^2 + (2g-1)^2 s_2^2} ;$$

Courant primaire à vide

$$\overline{I_0} = e(\rho - \sigma\sqrt{-1}) ;$$

Courant primaire total

$$\overline{I_1} = \overline{I_0} + \overline{I_2} = e(b_1 + b_2\sqrt{-1}),$$

ou

$$b_1 = \rho + a_1 \qquad b_2 = -(\sigma - a_2)$$

Tension induite primaire

$$eg \qquad ;$$

Chute de tension ohmique et fuites primaires

$$\overline{I_1}(r_1 + gs_1\sqrt{-1})$$

Tension aux bornes primaires

$$U_1 = eg + \overline{I_1}(r_1 + gs_1\sqrt{-1}) = e(c_1 + c_2\sqrt{-1}),$$

où

$$c_1 = g + r_1 b_1 - g b_2 s_1 , \quad c_2 = r_1 b_2 + g b_1 s_1 .$$

Digitized by Google

Les quantités analogues pour le premier moteur sont :

Courant secondaire

$$\bar{I}_2' = I_1 = e(b_1 + b_2\sqrt{-1}) ;$$

Tension induite secondaire

$$\bar{E}_2' = \bar{E}_1 + \bar{I}_2'(r_2 + gs_2\sqrt{-1}) = e(d_1 + d_2\sqrt{-1}),$$

où

$$d_1 = c_1 + r_2 b_1 - g s_2 b_2 \quad , \quad d_2 = c_2 + r_2 b_2 - g s_2 b_1$$

force électromotrice induite primaire

$$\bar{E}_1' = \frac{\bar{E}_2'}{g} = e(f_1 + f_2\sqrt{-1}) ,$$

où

$$f_1 = \frac{d_1}{g} \quad , \quad f_2 = \frac{d_2}{g} \ (^1);$$

Courant d'excitation primaire

$$\bar{I}_0 = \bar{E}_1'(\rho - \sigma\sqrt{-1}) :$$

Courant total primaire

$$\bar{I}_1' = \bar{I}_0 + \bar{I}_2' = e(g_1 + g_2\sqrt{-1}),$$

où

$$g_1 = b_1 + s f_1 + \sigma f_2 \ , \ g_2 = b_2 + g f_2 - \sigma f_1 ;$$

Chute de tension ohmique et fuites primaires

$$\bar{I}_1'(r_1 + s_1\sqrt{-1}) ;$$

Tension aux bornes primaires

$$\bar{U}_1' = \bar{E}_1' + \bar{I}_1'(r_1 + s_1\sqrt{-1}) = e(h_1 + \sqrt{-1}\ h_2),$$

où

$$h_1 = f_1 + r_1 g_1 - s_1 g_2 \ , \ h_2 = f_2 + r_1 g_2 + s_1 g_1 .$$

En valeur absolue on a

$$u_1' = e\sqrt{h_1^2 + h_2^2},$$

d'où

$$e = \frac{u_1'}{\sqrt{h_1^2 + h_2^2}}$$

expression qu'il faudrait remplacer dans toutes les équations précédentes.

Ce qui précède va nous permettre de déterminer les expressions des couples des puissances reçues et fournies et des rendements.

La force électromotrice induite secondaire ayant dans l'espace même direction que le flux, la composante suivant la direction perpendiculaire au flux s'obtiendra en faisant tourner le vecteur tension de 90° en arrière du sens de rotation des vecteurs, ce qui algébriquement revient à multiplier l'expression complexe de la tension par $-\sqrt{-1}$. Le couple du second moteur en watts au synchronisme sera donc, d'après ce qu'on a vu plus haut :

$$T = [-e\sqrt{-1}.\bar{I}_2]_{\sqrt{-1}} = -[e\bar{I}]_1$$

(1) Au synchronisme ($g = 0$) f_1 et f_2 se présentent sous une forme indéterminée, mais cette indétermination est facile à lever, il suffit de remplacer f_1 et f_2 par les dérivées de d_1 et d_2 par rapport à g et de faire ensuite $g = 0$.

Digitized by Google

ce qui donne en appliquant la règle indiquée (changement du signe de $\sqrt{-1}$ dans I_2)

$$T = -e^2 a_1 .$$

On a alors : pour la puissance transformée en travail mécanique

$$P = -(1-g)T = -(1-g)e^2 a_1 ,$$

pour la puissance reçue par le primaire

$$\bar{P}^1 = P^1 + \sqrt{-1}\, P^1_{\sqrt{-1}} = [\bar{E}_1 \bar{I}_1] = [\bar{E}_1 \bar{I}_1]_1 + \sqrt{-1}\,[E_1 I_1]_{\sqrt{-1}} = e^2(c_1 + \sqrt{-1}\, c_2)(b_1 - \sqrt{-1}\, b_2) ,$$

pour le rendement (1)

$$\frac{P}{P_1^1} = \frac{-(1-g)e^2 a_1}{c_1 b_1 + c_2 b_2} ,$$

et pour le facteur de puissance

$$\frac{P_1^1}{Q} = \frac{[\bar{E}\,\bar{I}]_1}{E_1 I_1} = \frac{c_1 b_1 + c_2 b_2}{\sqrt{(c_1^2 + c_2^2)(b_1^2 + b_2^2)}}$$

Dans le premier moteur le couple T′ est de même

$$T' = [-\bar{E}'_1 \sqrt{-1}\, \bar{I}'_1]_{\sqrt{-1}} = -[\bar{E}'_1 \bar{I}'_1]_1 = -(f_1 b_1 + f_2 b_2) .$$

On a donc :
pour le travail mécanique transmis

$$P' = (1-g)T' = -e^2(1-g)(f_1 b_1 + f_2 b_2) ,$$

pour la puissance reçue

$$P'' = [\bar{U}'_1 \bar{I}'_1] = [\bar{U}'_1 \bar{I}'_1]_1 + \sqrt{-1}\,[\bar{U}'_1 \bar{I}'_1]_{\sqrt{-1}} = e^2(h_1 + \sqrt{-1}\, h_1)(g_1 - \sqrt{-1}\, g_2) ,$$

pour le rendement

$$\frac{P'}{[\bar{U}'_1 \bar{I}'_1]_1 - [\bar{E}_1 \bar{I}_1]_1} = \frac{-(1-g)(f_1 b_1 + f_2 b_2)}{(h_1 g_1 + h_2 g_2) - (c_1 b_1 + c_2 b_2)} ,$$

pour le facteur de puissance

$$\frac{P'_1 - P_1}{U'_1 I'_1 - E_1 I_1} = \frac{(h_1 g_1 + h_2 g_2) - (c_1 b_1 + c_2 b_2)}{\sqrt{(h_1^2 + h_2^2)(g_1^2 + g_2^2)} - \sqrt{(c_1^2 + b_1^2)(g_1^2 + g_2^2)}}$$

Finalement, le facteur de puissance de l'ensemble a pour valeur

$$\frac{P''_1}{U'_1 I'_1} = \frac{h_1 g_1 + h_2 g_2}{\sqrt{(h_1^2 + h_2^2)(g_1^2 + g_2^2)}} ,$$

et le rendement total

$$\frac{P + P'}{[\bar{U}'_1 \bar{I}'_1]_1} = \frac{-(1-g)(a_1 + f_1 b_1 + f_2 b_2)}{h_2 g_1 + h_2 g_2} .$$

L'allure des courbes des couples et des courants en fonction du glissement est intéressante à connaître, M. Steinmetz les a construites pour des glissements variant entre 1,5 et — 0,7 p. 100 (les valeurs négatives correspondant comme on le sait au fonction-

(1) Dans les expressions des rendements et des couples moteurs, il n'est pas tenu compte des frottements qui sont par suite considéré comme travail utile.

Digitized by Google

nement des appareils en générateur et par suite en récupération). Pour la construction des courbes de la figure 1 on a admis que

$$R_1 = R_2 = 0{,}1 + 0{,}3\sqrt{-1}$$
$$P = 0{,}01 - 0{,}1\sqrt{-1}$$

Les courbes représentées sont celles du couple total et du couple du second moteur ainsi que celle du courant.

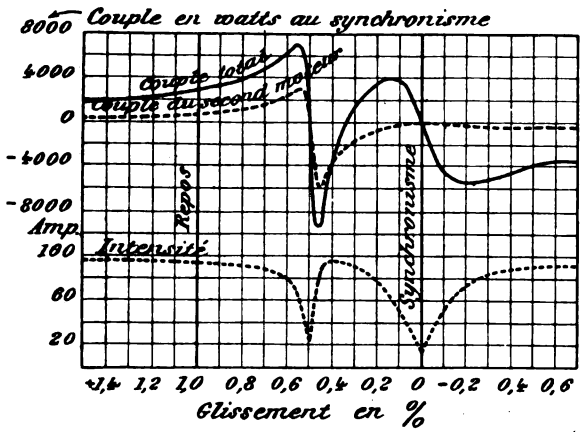


Fig. 1. — Courbes du courant, du couple total et du couple du second moteur dans un ensemble de deux moteurs asynchrones montés en cascade et clavetés sur le même arbre.

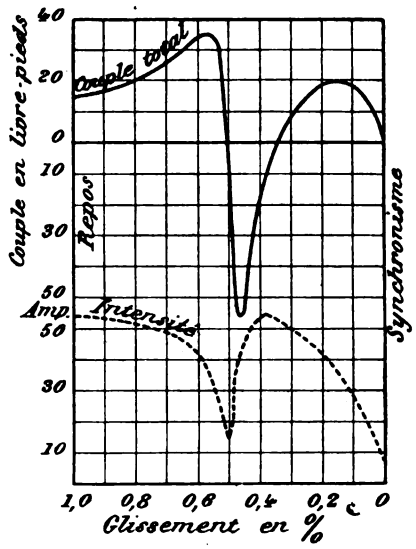


Fig. 2. — Courbes analogues à celles de la figure 1 et relevées expérimentalement sur deux moteurs de 5 chevaux à 1 200 tours, 110 volts, 60 périodes.

Expérimentalement, on obtient des résultats identiques comme le montre la figure 2 qui donne la courbe du couple total et du courant dans un ensemble de deux moteurs couplés en cascade en fonction du glissement depuis le repos jusqu'à la vitesse correspondant au synchronisme de chaque moteur fonctionnant seul. On voit qu'il y a deux régions où l'ensemble peut produire du travail, l'une comprise entre le démarrage et la vitesse correspondant à la moitié de celle du synchronisme, l'autre partant aux deux tiers environ de la vitesse correspondant au synchronisme et allant jusqu'à cette dernière.

Si l'on introduit des résistances dans le secondaire du second moteur, la seconde région peut disparaître plus ou moins complètement comme l'indique la figure 3 qui correspond aux mêmes moteurs que ceux de la figure 1, mais avec des résistances dans l'induit du second.

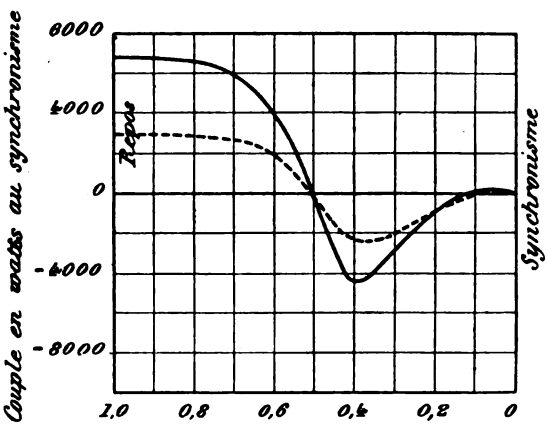


Fig. 3. — Courbes du couple total et du couple du second moteur dans un ensemble de deux moteurs asynchrones montés en cascade et clavetés sur le même arbre (emploi d'une résistance dans le secondaire du second moteur).

Les exemples d'application pourraient être multipliés à l'infini, mais celui que nous

***

Digitized by Google

venons de citer par sa complication à être traité directement, montre le profit réel qu'on peut tirer de la méthode de calcul de M. Steinmetz et de la généralisation qu'il vient d'en faire pour l'évaluation des puissances et leur représentation par des expressions imaginaires analogues à celles employées pour les courants, les tensions, les résistances apparentes, les admittances, etc. En la présentant à nos lecteurs avec les améliorations que nous avons cru devoir y apporter, nous pensons avoir fait œuvre utile.

C.-F. GUILBERT.

APPAREILS DE MESURES

Quelques modifications sont apportées par Ed. WESTON (1) à ses galvanomètres à cadre mobile bien connus. D'abord, pour obtenir un centrage plus parfait et un remplacement plus facile des pivots, les porte-pivots sont décolletés au tour dans une barre pleine R, figure 2, le trou *h* est ensuite

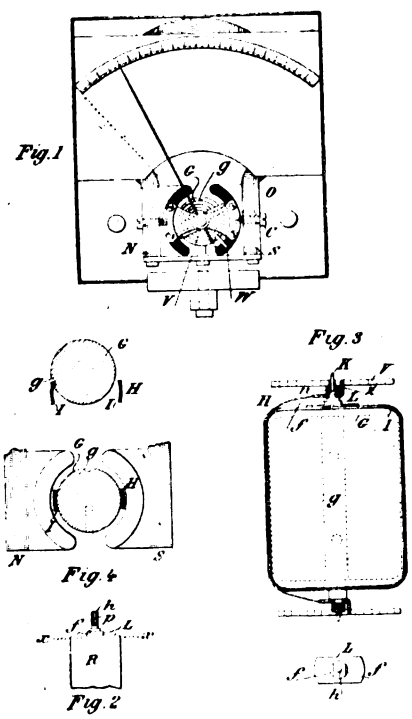


Fig. 1 à 4. — Galvanomètre Weston. — 1, ensemble; 2, porte-pivot; 3, montage du cadre; 4, détails du noyau.

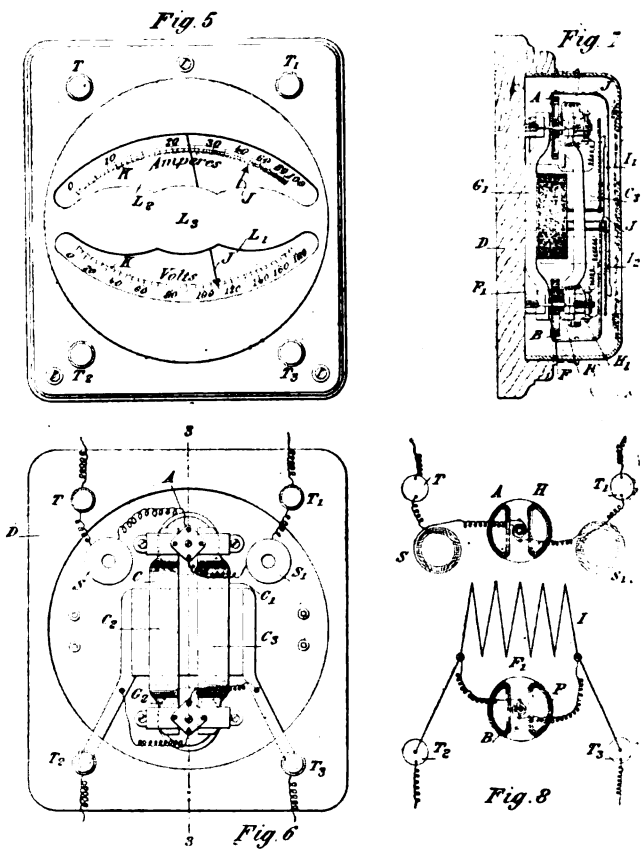


Fig. 5 à 8. — Galvanomètre double E. Thomson. — 5, ensemble; 6, vue en plan; 7, coupe; 8, Schéma.

percé et la tige *p* est filetée; ces opérations terminées, la pièce est coupée suivant la ligne pointillée *xx* et, une fois finie, elle présente l'aspect indiqué par le dessin. Les

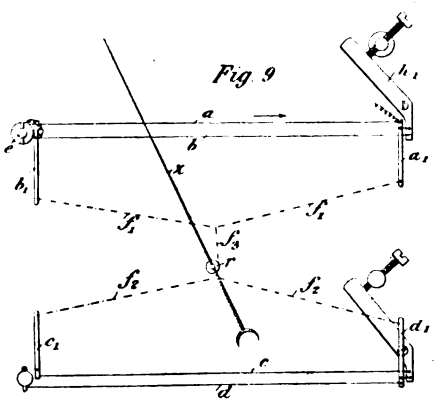
(1) Brevet anglais, n° 6991. Déposé le 22 mars 1898, accepté le 3 décembre 1898. 5 figures.

Digitized by Google

pivots sont enfoncés dans les trous h au moyen d'un outil spécial. Les ressorts spiraux V sont tenus sur les porte-pivots au moyen de petites équerres z vissées et maintenues par les petits écrous m, figure 3; ces équerres sont soudées aux extrémités du fil du cadre mobile.

Pour réduire autant que possible l'entrefer et permettre néanmoins la mise en place du cadre sans déformation, la pièce de fer centrale G, figure 4, est creusée, en g, suivant une génératrice du cylindre, ce qui permet de la faire entrer dans l'intérieur cylindrique du cadre mobile, bien que les bords de celui-ci laissent entre eux un espace inférieur au diamètre de G. Une fois le cadre en place, le cylindre est tourné comme on le voit dans la figure 4.

La lecture simultanée des indications d'un voltmètre et d'un ampèremère paraît être une préoccupation des ingénieurs américains; après Weston [1] voici que E. Thomson [2] présente un appareil double, dans lequel les échelles, volts et ampères, ou autres, sont très



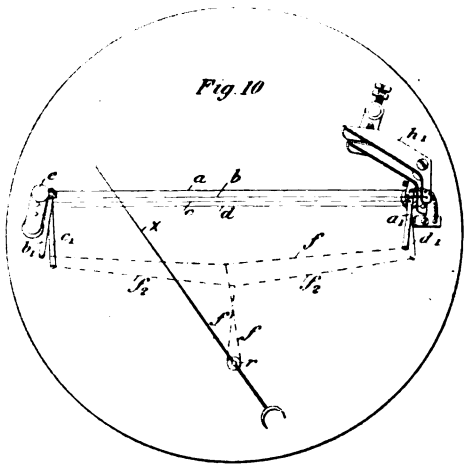


Fig. 9 et 10. — Voltmètre thermique de Lehner. — 9, schéma; 10, ensemble.

rapprochées. Dans les figures 5, 6, 7 et 8 est représenté un galvanomètre double, à bobines mobiles et à aimants permanents fixes. Les bobines mobiles A et B, en forme de segments de cercle, sont placées deux par deux sur un disque amortisseur en cuivre porté lui-même par un axe perpendiculaire à son plan; les deux bobines sont enroulées de telle sorte qu'elles constituent un système astatique. L'axe pivote entre deux crapaudines et deux ressorts spiraux H amènent le courant dans les bobines et dirigent le système.

Le champ magnétique est formé par deux paires de barreaux $c_1c_2c_3$ légèrement courbés aux bouts pour former les pièces polaires embrassant les bobines. Les aimants ainsi disposés forment à chaque bout deux champs voisins et de sens opposés; ceci joint à la forme astatique des bobines mobiles assure le système contre l'action perturbatrice des champs extérieurs.

Comme on le voit dans le schéma, figure 8, l'une des bobines, A, est munie de deux résistances additionnelles, SS_1, de façon à servir de voltmètre, tandis que B, placée en dérivation sur une très faible résistance I, sert d'ampèremètre.

Chacun des deux disques amortisseurs porte un index recourbé JJ_1, figures 5 et 7, et

(1) *Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 386, 3 déc. 1898.

(2) Brevet anglais, n° 23958, déposé par *The British Thomson-Houston C°*, le 14 novembre 1898, accepté le 23 décembre 1898, 4 figures.

Digitized by Google

ceux-ci viennent indiquer sur les cadrans KK_1 la déviation obtenue. Pour augmenter la grandeur des échelles de graduation, sans donner des dimensions trop grandes à l'appareil, chaque cadran est placé à côté de la bobine opposée, de telle sorte que les deux index se croisent, mais à des hauteurs différentes, ce qui n'a plus aucun inconvénient.

Le voltmètre thermique de KARL LEHNER (1) ne diffère des appareils bien connus que par le mode d'amplification employé, lequel est représenté schématiquement dans la figure 9 et sous sa forme réelle dans la figure 10. Un fil métallique fin, a, est tendu entre un pilier fixe e et un levier a_1. Un second fil est tendu entre l'extrémité du tendeur h_1 et un levier b_1. Quand, par suite de l'échauffement, les deux fils se dilatent, les leviers a_1 et b_1 tournent autour de leurs points d'attache situés, pour a_1, sur un fil de soie attaché à h_1 et, pour b_1, à l'extrémité du levier mais un peu au-dessous du fil b; dans ces conditions les extrémités inférieures des leviers se rapprochent et la flèche du fil f_1, qui les relie, augmente. Un autre fil, f_2, attaché au milieu de f_1, agit sur une poulie r et fait tourner l'index z. Les fils a et b sont seuls parcourus par le courant.

Au lieu d'employer des ressorts comme force antagoniste, un second système semblable, non traversé par le courant, est disposé au-dessous et agit seulement par son élasticité: il a pour but, en outre, d'assurer la correction de température ; en effet, les variations de la température ambiante affectent également et dans le même sens les deux systèmes, de sorte que les actions sur la poulie r se détruisent. Dans la pratique, les deux groupes sont placés côte à côte, figure 10.

L'emploi d'un transformateur pour permettre la mesure des courants alternatifs avec un instrument d'une sensibilité trop faible ou trop élevée n'est pas nouveau, c'est cependant l'objet du brevet de ART. ANNESLEY VOISEY et R. PAGE WILSON (2). Ces inventeurs désirant mesurer la force électromotrice et l'intensité d'un courant alternatif au moyen d'un seul voltmètre, électrostatique ou autre, disposent deux commutateurs et un transformateur, figure 11, de telle sorte que, par exemple, les deux commutateurs étant tournés à gauche, l'appareil indique le voltage; à droite il indique la force électromotrice induite dans le transformateur, laquelle est proportionnelle à l'intensité.

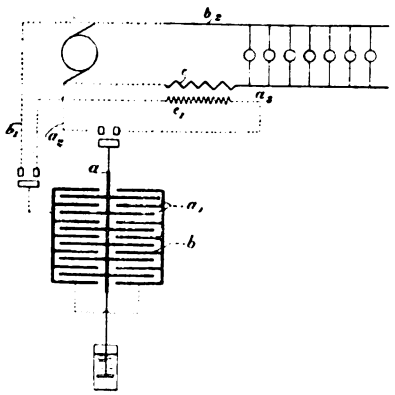


Fig. 11. — Montage d'un électromètre d'après Voisey et Wilson.

Pour faciliter les lectures il y a deux échelles, l'une en volts, l'autre en ampères, et en manœuvrant le commutateur on découvre en même temps l'échelle convenable.

Les voltmètres électrostatiques sont susceptibles d'être détériorés lorsque des étincelles éclatent entre les différentes parties de l'appareil; un arc peut alors s'allumer et brûler complètement le voltmètre, sans préjudice des accidents qui peuvent en résulter sur le circuit. Ce danger est d'autant plus grand que, pour augmenter la sensibilité, on est conduit à réduire au minimum les intervalles d'air entre les parties fixe et mobile, ce qui permet à l'étincelle d'éclater pour des voltages très voisins de la graduation de

(1) Brevet anglais, n° 26136, déposé le 10 décembre 1898, accepté le 25 février 1899, 2 figures.

(2) Brevet anglais, n° 1002, déposé le 13 janvier 1898, accepté le 13 janvier 1899, 1 figure.

Digitized by Google

l'appareil. Pour remédier à ce défaut, on peut mettre, en série avec le voltmètre, des résistances assez grandes pour que l'intensité qui les traverse, en cas de court-circuit à l'électromètre, soit trop faible pour causer des dommages. Il suffit de faire ces résistances sans self appréciable pour que les armatures de l'électromètre se chargent instantanément, quelles que soient les variations de voltage. C'est le but qu'a voulu atteindre E. M. Hewlett (1) en plaçant l'électromètre entre deux résistances cc_1, figures 12 et 13, constituées probablement, le texte ne le dit pas, par des baguettes de charbon très résistant.

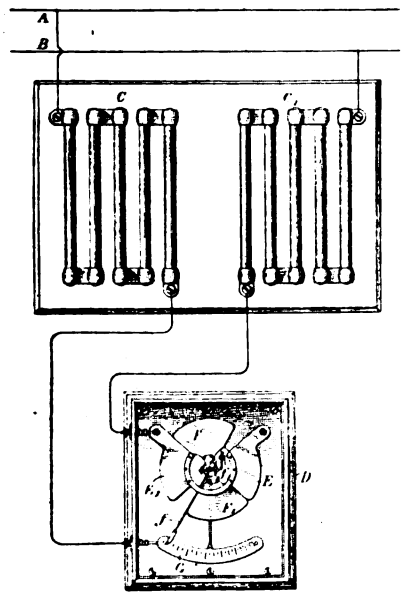


Fig. 12. — Résistance de protection d'un électromètre.

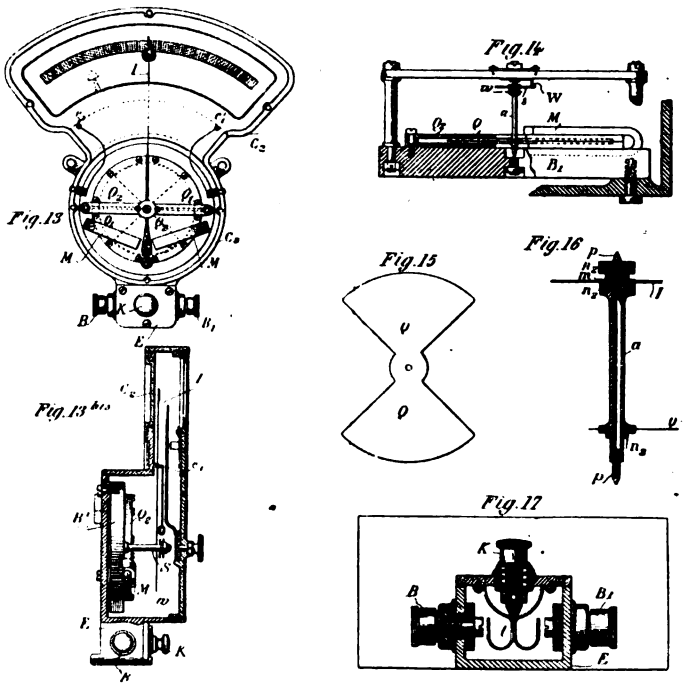


Fig. 13 à 17. — Electromètre Weston. — 13, ensemble; 13 *bis*, coupe ; 14, 15, 16 et 17, détails.

Le voltmètre électrostatique de E. Weston (2) est renfermé dans une boîte en fonte c_2, figures 12 et 13. C'est un électromètre à quadrants dans lequel l'aiguille L, figure 15, est portée par un léger axe creux, figure 16, pivotant entre deux pointes *pp* ; la direction est donnée par un ressort spiral *s*, figure 14. L'aiguille est enfermée dans les quadrants Q_1Q_2, portés par une base isolante B_2, figures 13 et 14. Deux petits aimants en fer à cheval MM embrassent l'aiguille et servent à amortir ses oscillations.

Pour éviter les déformations de l'index I, causées par des lancés trop brusques de l'aiguille, des ressorts e_1e_2, munis de bouts isolants, servent de butoirs élastiques à l'index.

La mise en circuit du voltmètre se fait au moyen d'un interrupteur placé dans une boîte E, venue de fonte avec la cage de l'instrument. Les bornes BB_1, figure 17, sont parfaitement isolées et deux ressorts *tt*, en relation, l'un avec les quadrants Q_1, l'autre avec les quadrants Q_2 et l'aiguille, viennent se mettre en contact avec ces bornes, quand on appuie

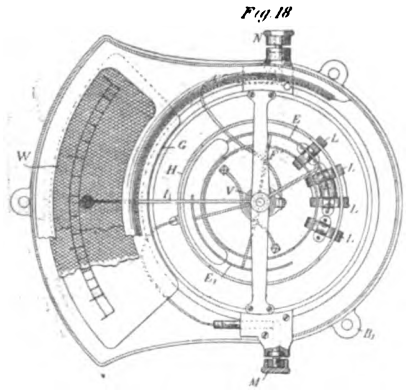
(1) Brevet anglais, n° 22080, déposé par *The British Thomson-Houston C°*, le 20 octobre 1898, accepté le 26 novembre 1898, 1 figure.

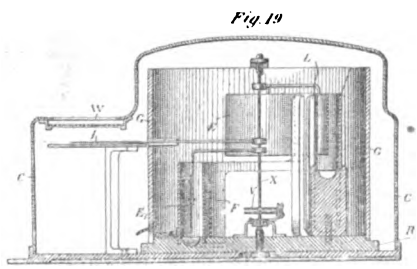
(2) Brevet anglais, n° 6992, déposé le 22 mars 1898, accepté le 19 novembre 1898, 7 figures.

Digitized by Google

sur le bouton isolant K; celui-ci abandonné, les ressorts *tt* se réunissent et déchargent l'électromètre.

Une autre forme de voltmètre électrostatique, destinée aux voltages élevés, 20 000 volts dit le brevet, est indiquée par E. Thomson (1). Le but principal poursuivi dans cet appareil est d'enfermer les parties actives dans une cage métallique indépendante de l'enveloppe extérieure et agissant comme écran pour protéger les armatures contre l'induction électrostatique causée par les corps voisins.





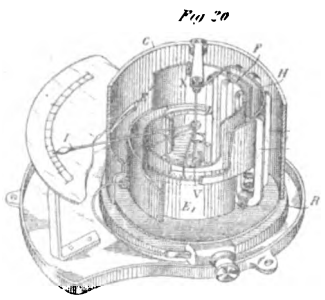


Fig. 18 à 20. — Electromètre E. Thomson. — 18, plan; 19. coupe verticale; 20, vue en perspective.

L'armature mobile est formée de deux feuilles d'aluminium EE_1, figures 18, 19 et 20, portées par des bras qui les fixent sur l'axe vertical X; ces lames, qui forment l'aiguille ! de l'électromètre, sont situées de chaque côté de l'axe, pour se faire équilibre, et à des hauteurs différentes. L'armature fixe est composée de deux cylindres concentriques échancrés, l'extérieur H et l'intérieur F; ces cylindres sont coupés diamétralement et la moitié de la hauteur enlevée de chaque côté, de sorte qu'il ne reste plus de chacun que deux demi-cylindres n'ayant qu'un seul diamètre commun. Au repos les deux feuilles de l'armature mobile pénètrent à peine entre les demi-cylindres fixes, mais la force électrostatique les y attire en combattant l'action des ressorts spiraux V. La lame supérieure, E, de l'aiguille passe entre les branches d'aimants L qui sont destinés à amortir les oscillations du système.

Tout cet ensemble repose sur une base isolante R et est protégé contre les actions extérieures par un cylindre métallique G, percé seulement d'une ouverture suffisante pour le passage de l'index I. La cage extérieure de l'instrument est percée d'une fenêtre W, fermée par une glace au-dessous de laquelle est placée une toile métallique à larges mailles, ceci encore pour éliminer les actions extérieures.

La borne M est en communication avec l'armature fixe par un fil isolé et la borne N est reliée à l'armature mobile, par l'intermédiaire des spiraux V, et au cylindre de protection G.

Ce qui caractérise les nouveaux instruments pour courants alternatifs de E. Weston (2), c'est l'emploi d'un bain d'huile pour amortir les oscillations de la bobine mobile. Les figures 21 à 24, qui se rapportent à un wattmètre s'expliquent presque d'elles-mêmes. Les bobines fixes *c* reçoivent le courant total par le moyen des bornes N_2N_3; elles enveloppent

(1) Brevet anglais, n° 19911, disposé par *The British Thomson-Houston C°*, le 20 septembre 1898, accepté le 12 novembre 1898, 4 figures.

(2) Brevet anglais, n° 6990, déposé le 22 mars 1898, accepté le 4 février 1899, 4 figures.

Digitized by Google

la bobine mobile *c*, en fil fin, et cette dernière pivote entre deux crapaudines en entraînant l'index recourbé I. Le cadran divisé S est placé sur une surface cylindrique.

Les bobines fixes et mobiles sont plongées dans un bain d'huile non visqueuse renfermé dans un vase en métal J. L'huile arrête les oscillations continuelles de la bobine mobile, et, en même temps, assure le retour au zéro sans choc; cette condition étant importante pour éviter la déformation de l'index, des ressorts flexibles *ee* servent de butoirs, comme dans l'électromètre précédemment décrit.

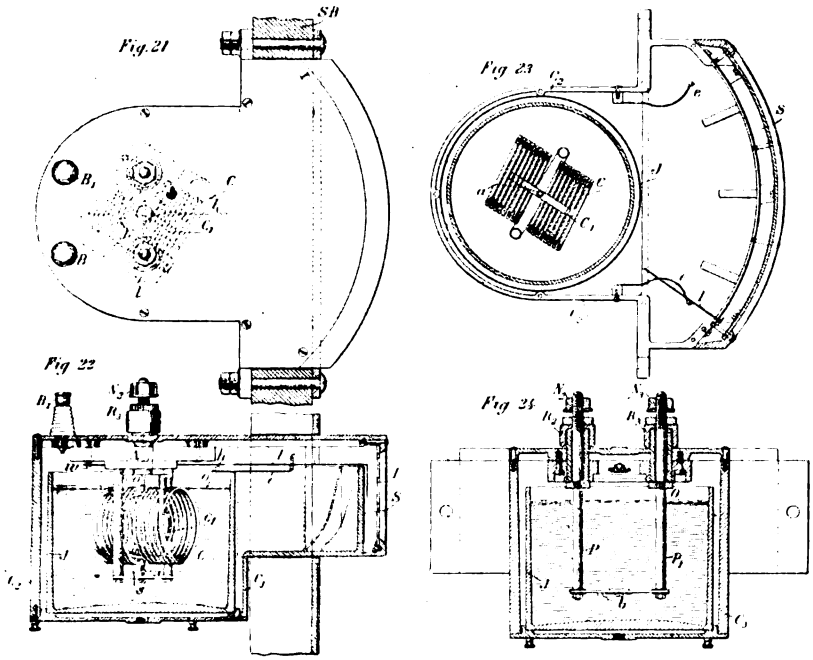


Fig. 21 à 24. — Wattmètre Weston. — 21, plan; 22, coupe verticale; 23, coupe horizontale; 24, coupe de la cuve.

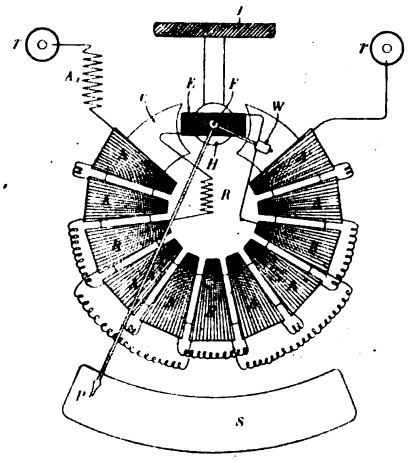


Fig. 25. — Electrodynamomètre Elphinstone et Heap.

Comme la lumière attaque la surface des pièces isolantes en ébonite, pour les conserver en bon état, l'inventeur les recouvre d'un chapeau opaque R_2R_3 qui évite l'action directe de la lumière ; ce chapeau est naturellement isolé.

L'appareil de G. K. B. Elphinstone et A. C. Heap (1) est une sorte d'électrodynamomètre dans lequel une bobine mobile E, figure 25, est placée dans l'entrefer d'un petit transformateur ABC. Le noyau de ce transformateur est composé de tôles laminées; il est recouvert d'une série de bobines, A et B, dont les enroulements sont appropriés aux mesures à faire. Dans le cas du voltmètre, représenté figure 25, le courant entrant par les bornes T traverse une résistance de réglage A' et les bobines A. Les bobines B, complètement isolées de A, sont alors le siège de courants induits, lesquels traversent seuls la bobine mobile E ainsi que la deuxième résistance de réglage R. L'action électrodynamique est équilibrée par un contrepoids W ou des ressorts. Par un réglage convenable des résistances A' et R on modifie l'impédance des deux circuits de telle sorte que les indications de l'instrument sont à peu près indépendantes de la fréquence.

Pour faire de cet appareil un ampèremètre et pour qu'un seul instrument puisse servir

(1) Brevet anglais, n° 26399, déposé le 12 novembre 1897, accepté le 17 septembre 1898, 1 figure.

Digitized by Google

aux mesures dans des circuits différents, les mêmes inventeurs (1) construisent des

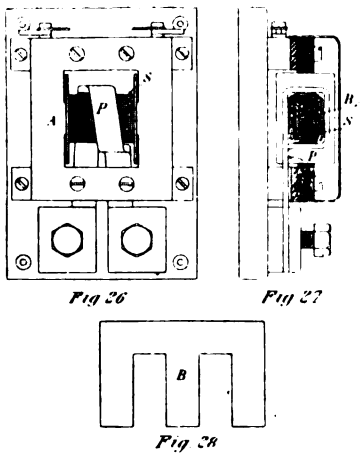


Fig. 26 à 28. — Transformateur pour mesures. 26, plan; 27, vue de côté; 28, détail.

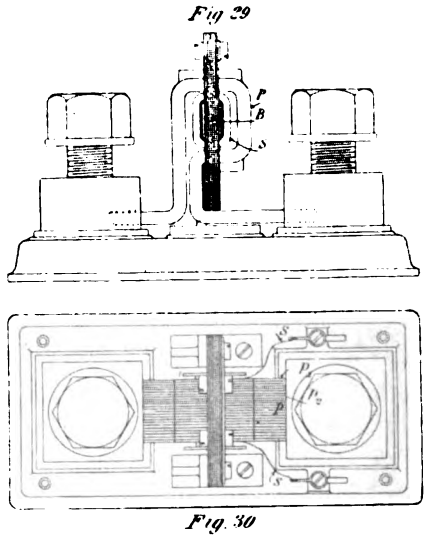


Fig. 29 et 30. — Autre forme de transformateur, plan.

transformateurs dont le primaire P est composé d'un seul tour de lame et dont le secondaire renferme un nombre de tours approprié à l'électrodynamomètre dont on se sert. Ces transformateurs ont un noyau de fer formé par la superposition de quelques lames de tôle en E, figure 28.

Dans le modèle pour 300 ampères, figures 26 et 27, la lame primaire est simple; pour 1 000 ampères et plus, figures 29 et 30, cette lame est feuilletée pour éviter l'action nuisible des courants de Foucault dans la masse.

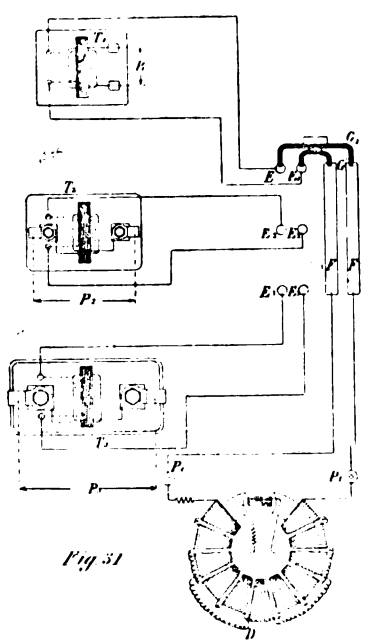


Fig. 31. — Montage pour mesures d'intensité.

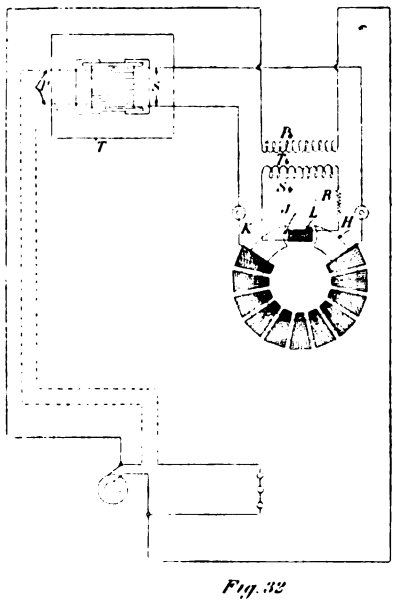


Fig. 32. — Wattmètre Elphinstone, schéma.

Le montage de l'appareil est simple, il suffit d'intercaler le primaire dans le circuit à mesurer, le secondaire étant relié au primaire de l'électrodynamomètre. On voit dans la figure 31 le montage, d'ailleurs facile à imaginer, adopté pour mesurer l'intensité dans trois circuits avec un seul appareil; les

(1) Brevet anglais, n° 18272, déposé le 25 août 1898, accepté le 5 août 1899, 10 figures.

Digitized by Google

transformateurs, qui restent en permanence dans chacun des circuits, jouent ici le même rôle que les shunts des galvanomètres pour les courants continus.

Pour faire de l'appareil un wattmètre, figure 32, le courant principal passe dans un transformateur analogue aux précédents, le secondaire étant relié à l'enroulement *unique* du noyau de l'électrodynamomètre ; le courant dérivé passe dans le primaire d'un transformateur *sans fer*, T_1, dont le secondaire est fermé sur le cadre mobile L, avec interposition d'une résistance R.

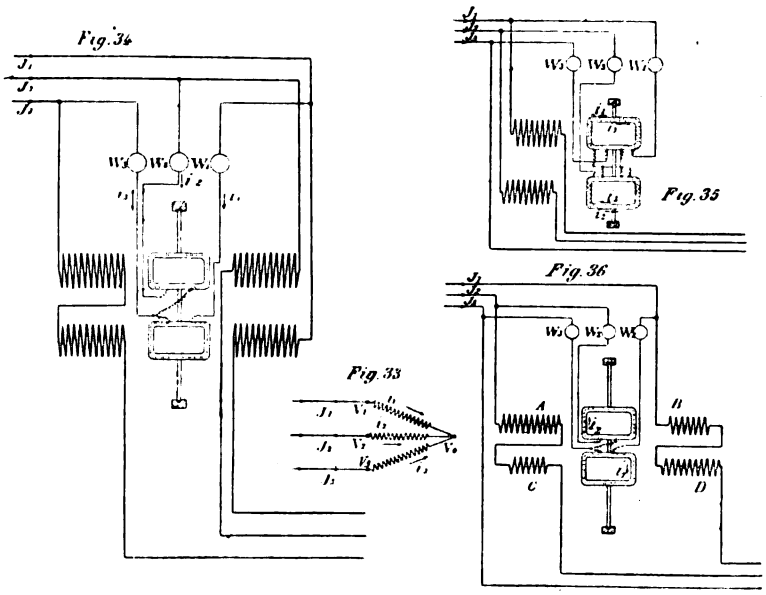


Fig. 33, 34, 35 et 36. — Mesures de courants triphasés, schéma.

Le brevet de Siemens et Halske (1) résume les différentes méthodes connues de mesurer l'énergie dépensée dans un circuit triphasé et il revendique quelques nouvelles dispositions.

Si trois conducteurs (fig. 33), amènent les courants $J_1J_2J_3$, et si aux bornes de l'appareil d'utilisation, non représenté sur la figure, les potentiels sont $V_1V_2V_3$, on sait que la puissance absorbée est représentée par :

$$A = J_1V_1 + J_2V_2 + J_3V_3 , \qquad (1)$$

quel que soit le montage employé, triangle ou étoile. D'autre part nous savons que

$$J_1 + J_2 + J_3 = 0 ,$$

et cette dernière équation est encore vraie si nous multiplions tous les termes par un potentiel arbitraire V_0 :

$$J_1V_0 + J_2V_0 + J_3V_0 = 0 . \qquad (2)$$

De (1) et (2) on tire :

$$A = J_1(V_1 - V_0) + J_2(V_2 - V_0) + J_3(V_3 - V_0) , \qquad (3)$$

ou, si nous prenons le potentiel V_0 au point de rencontre de trois résistances $w_1w_2w_3$,

$$A = J_1i_1w_1 + J_2i_2w_2 + J_3i_3w_3 : \qquad (4)$$

Quand les résistances w sont égales, on a la méthode de Frölich ; elle exige trois wattmètres.

Si dans l'équation (3) nous faisons $V_0 = V_3$, il vient :

$$A = J_1(V_1 - V_3) + J_2(V_2 - V_3) , \qquad (5)$$

(1) Brevet anglais, n° 4746, déposé par Siemens Brothers et Cie, le 25 février 1898, accepté le 25 février 1899, 5 figures.

****

Digitized by Google

ou, comme cela revient à faire la résistance $w_3 = 0$,

$$A = J_1 i_x w_x + J_2 i_y w_y . \tag{6}$$

Pour $w_x = w_y$, cette équation donne la méthode de Aron et Behn-Eschenburg, dans laquelle on fait seulement usage de deux wattmètres.

Le présent brevet est basé sur des modifications de la méthode de Frölich qui la simplifient. Remarquons que si on combine l'équation (4) avec la suivante,

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0,$$

on obtient :

$$A = (J_1 w_1 - J_3 w_3) i_1 + (J_2 w_2 - J_3 w_3) i_2 , \tag{7}$$

et, pour $w_1 = w_2 = w_3$,

$$A = [(J_1 - J_3) i_1 + (J_2 - J_3) i_2] w_1 \tag{8}$$

Cette disposition est réalisée dans la figure 34 où deux bobines mobiles, solidaires l'une de l'autre, sont placées dans le champ de quatre bobines fixes parcourues par les courants $J_1 J_2 J_3$, dans le sens correspondant à (8).

De l'équation (7) on peut aussi éliminer J_3 en tenant compte de :

$$J_1 + J_2 + J_3 = 0 :$$
$$A = [J_1 (w_1 + w_3) + J_2 w_3] i_1 + [J_2 (w_2 + w_3) + J_1 w_3] i_2 \tag{9}$$

ou, si les résistances sont égales :

$$A = [(2J_1 + J_2) i_1 + (2J_2 + J_1) i_2] w . \tag{10}$$

Dans la figure 36 on trouve la réalisation de (10), même si les bobines A et D n'ont pas une action double de celle de B et C, on peut arriver à une mesure exacte en faisant varier les résistances w, selon l'équation (9).

L'équation (10) peut aussi être écrite :

$$A = [J_1 (2i_1 + i_2) + J_2 (2i_2 + i_1)] w , \tag{11}$$

ou

$$A = [J_1 (i_1 - i_3) + J_2 (i_2 - i_3)] w. \tag{12}$$

Ces deux dernières dispositions peuvent être réalisées avec un wattmètre dans lequel les deux bobines mobiles ont chacune deux circuits distincts et dans lequel il y a seulement deux circuits fixes. C'est ce que l'on voit dans la figure 35 qui réalise l'équation (12).

Au lieu des quatre bobines ABCD, égales deux à deux, on peut employer seulement deux bobines AB, disposées de telle sorte que l'action de A sur S_2, figure 37, soit moitié de l'action sur S_1, tandis que B agit deux fois plus sur S_2 que sur S_1 ; c'est une autre solution de l'équation (10).

Le dispositif de J. H. Barker (1) est destiné à permettre plusieurs enregistrements successifs sur une même bande de papier, de façon à éviter le remplacement trop fréquent de cette bande. Applicable à tous les enregistreurs, ce système est représenté, dans les figures 38 et 39, monté sur un voltmètre à fil chaud genre Holden.

(1) Brevet anglais, n° 24417, déposé le 21 octobre 1897, accepté le 21 octobre 1898, 4 figures.

Digitized by Google

Dans les enregistreurs on n'utilise généralement qu'une fraction assez faible de la largeur du papier, c'est pourquoi l'inventeur dispose un système permettant de déplacer le zéro à chaque tour de tambour. Pour atteindre ce but l'aiguille est divisée en deux parties, l'une *c* fixée à l'axe dont on veut enregistrer le mouvement, l'autre mobile, E, porte la plume E_1 qui trace sur le papier. Sur l'aiguille fixe *c* est attachée une sorte de crémaillère c_1 dans les crans de laquelle se fixe l'aiguille E. Cette dernière étant placée dans un cran suit tous les mouvements de *c* et les enregistre sur le tambour, mais quand celui-ci a fait un tour complet, la barre triangulaire B_1 vient relever la plume E_1, l'index E qui la porte étant aussi soulevé, abandonne le cran de c_1 dans lequel il était et passe au suivant; l'enregistrement continue mais avec un déplacement de zéro.

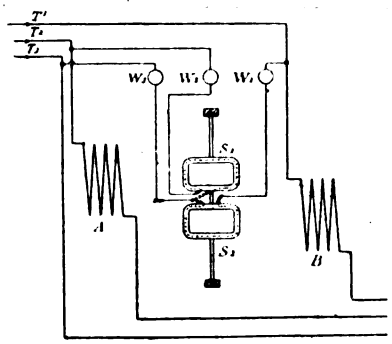


Fig. 37. — Mesures de courants triphasés, schéma.

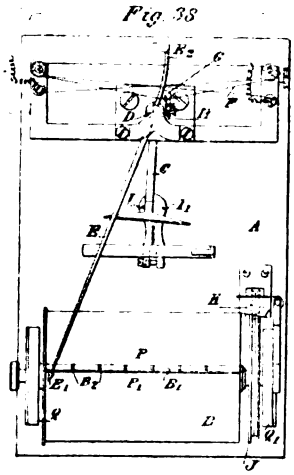


Fig. 38. — Enregistreur Barker, vue de face.

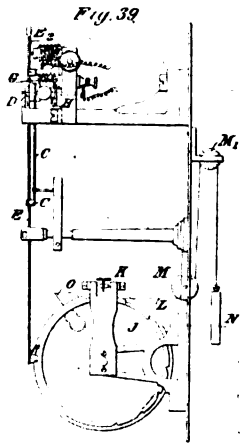


Fig. 39. — Enregistreur Barker, vue de côté.

Pour que la durée du passage de la barre B_1 n'interrompe pas le tracé, ce passage se fait, indépendamment de l'horloge du tambour, à une vitesse beaucoup plus grande que le reste du mouvement. A cet effet une roue à rochet S est placée dans le prolongement du tambour; elle est retenue par le déclic K. Le rouage d'horlogerie s'appuie sur cette roue de sorte que, quand elle est immobilisée, le tambour est simplement entraîné par le mouvement.

Quand la barre B_1 vient en contact avec la plume E_1, le plan incliné *o* soulève le déclic K et la roue J devenue libre est entraînée rapidement par le poids N, emmenant après elle le tambour. Dès que la barre B_1 a de nouveau dépassé la plume, le déclic retombe, fixe la roue J et le tambour reprend sa marche régulière.

H. ARMAGNAT.

MÉTHODES ET APPAREILS DE MESURES

POUR SYSTÈMES TRIPHASÉS (1)

Soient *a*, *b*, *c* (fig. 1), trois conducteurs d'un système triphasé symétriquement chargé. Supposons les appareils d'utilisation montés en étoile, uniquement d'ailleurs pour préciser

(1) Mémoire lu au premier Congrès des électriciens italiens, à Côme, le 19 septembre 1899.

Digitized by Google

le cas envisagé, car le montage en triangle donne lieu à des considérations peu différentes de celles qui vont suivre.

D'après le diagramme des différences de potentiel OA, OB, OC, (fig. 2) on déduit :

1° La différence de potentiel V entre les points O et A est en avance de phase de 90° sur la différence de potentiel V entre les points B et C.

2° La différence de potentiel V′ est en avance de phase de 90°, sur la différence de potentiel V″ entre les points B et O.

3° La différence de potentiel V est en avance de phase d'un angle compris entre 90° et 60°, sur la différence de potentiel V_n entre les points B et N, N étant un point intercalé entre C et O; cet angle est d'autant plus rapproché de 60°, que le point N est plus proche du point O.

4° La différence de potentiel V est en retard de phase de 30° par rapport à la différence de potentiel V‴ entre les points C et A.

De ces propriétés spéciales des systèmes triphasés, j'ai déduit de nouvelles méthodes et de nouveaux appareils de mesures, dont je vais exposer une succincte description.

Fig. 1

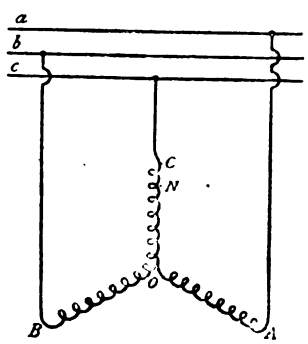


Fig. 2

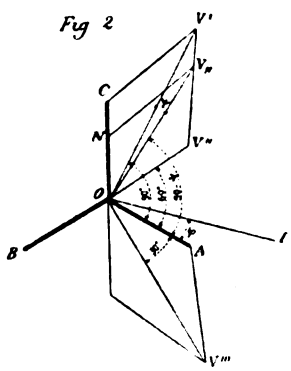


Fig. 3

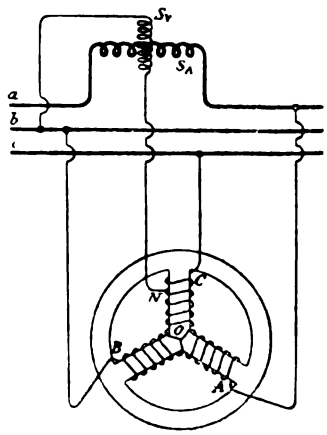


Fig. 1 à 3.

I. — Soient V la différence de potentiel efficace entre les extrémités O et A d'une branche de l'étoile supposée parcourue par un courant alternatif sinusoïdal, I l'intensité efficace du courant, φ la valeur angulaire du retard de phase du courant par rapport à la différence de potentiel.

Si l'on insère en OA la bobine ampèremétrique (à gros fil) d'un wattmètre ordinaire et si l'on dispose la bobine voltmétrique de cet instrument en dérivation par rapport à OA, la puissance dépensée dans OA est donnée par

$$W = VI \cos \varphi = K\delta, \qquad (1)$$

δ étant la déviation et K la constante du wattmètre. Les trois branches OA, OB, OC étant supposées également chargées, la puissance totale dépensée est donnée par 3 W.

Si, laissant la bobine ampèremétrique sur le circuit OA, nous mettons la bobine voltmétrique en dérivation entre B et C, nous aurons une autre déviation δ'. En remarquant que la différence de potentiel V′ entre B et C est égale à $V\sqrt{3}$ et que cette différence de potentiel, en retard de phase de 90° sur V comme on l'a vu plus haut, fait un angle 90° — φ avec le courant dans OA, on obtient la relation

$$V\sqrt{3}\, I \cos(90° - \varphi) = K\delta', \text{ ou } VI \sin \varphi = \frac{K}{\sqrt{3}}\delta', \qquad (2)$$

Digitized by Google

qui, avec la relation (1), donne

$$\text{tang}\,\varphi = \frac{1}{\sqrt{3}}\,\frac{\delta'}{\delta}$$

Dans le cas d'installations triphasées symétriquement chargées, un électrodynamomètre peut donc permettre de mesurer non seulement la puissance du courant watté mais encore (en supposant constante la différence de potentiel V) l'intensité du courant en quadrature I sin φ et enfin le facteur de puissance cos φ. Pour la commodité des lectures on munira l'instrument de deux graduations, l'une correspondant au produit VI cos φ, l'autre au produit VI sin φ, cette dernière se déduisant de la première en divisant par $\sqrt{3}$ les valeurs correspondant aux divisions de celle-ci.

II. — Soient I et I′ les intensités efficaces de deux courants alternatifs sinusoïdaux, et soit φ la valeur angulaire de la différence de phase entre les deux courants.

Si ces courants parcourent les deux bobines inductrices d'un appareil d'induction à champ tournant Ferraris on a, H étant une constante et δ la déviation de la bobine induite soumise à l'action du champ Ferraris engendré par les courants donnés :

$$\text{I.I'. sin}\,\varphi = \text{H.}\,\delta$$

En outre, si les deux bobines inductrices de l'appareil à champ Ferraris, sont l'une ampèremétrique et l'autre voltmétrique, on a encore, C étant une constante et V la différence de potentiel alternative efficace entre les extrémités de la bobine voltmétrique :

$$\text{V.I. sin}\,(\varphi - \psi) = \text{C.}\,\delta$$

où ψ est le retard de phase (dû à l'inductance de la bobine voltmétrique) du courant I qui parcourt la bobine, par rapport à la différence de potentiel existante entre les extrémités de la bobine voltmétrique même.

Supposons maintenant qu'on insère la bobine ampèremétrique de l'appareil à champ tournant Ferraris dans un des trois conducteurs *a*, *b*, *c* d'un système triphasé, par exemple dans le conducteur *a* (fig. 1), et qu'on relie la bobine voltmétrique en dérivation entre les deux conducteurs *b* et *c*. La différence de potentiel V entre les points O et A étant en avance de phase de 90° par rapport à la différence de potentiel V′ entre les extrémités B et C, on a alors, K étant une constante.

$$\text{V.I. sin}\,(90^\circ - \varphi + \psi) = \text{K}\delta$$

Si au lieu d'utiliser la différence de potentiel V′ entre les conducteurs *b* et *c*, on utilise la différence de potentiel V_N, entre les points B et N (fig. 3), le point N étant choisi de manière que la différence de potentiel V entre O et A, soit en avance de phase d'un angle égal à 90° — ψ, par rapport à V_N, on aura

$$\text{V.I. sin}\,(90^\circ - \psi - \varphi + \psi) = \text{V.I. cos}\,\varphi = \text{W.} = \text{K}\delta,$$

W étant la puissance du courant alternatif, dans une des branches.

On pourra toujours pratiquement déterminer le point N, à l'aide d'un appareil de petites dimensions OA, OB, OC, tout à fait semblable à une bobine ordinaire de réaction, pour systèmes triphasés.

Dans ces conditions un appareil d'induction à champ tournant Ferraris, dont les deux bobines inductrices sont l'une ampèremétrique, et l'autre voltmétrique, peut donc remplir

Digitized by Google

le rôle de wattmètre pour la mesure exacte de la puissance, dans les systèmes triphasés symétriquement chargés, par des appareils inductifs.

Faisons observer que l'on peut choisir le point N de manière que la différence de phase entre V et V_N ait une valeur quelconque, comprise entre 90° et 60° ; l'angle ψ de différence de phase entre V_N et I peut prendre toutes les valeurs comprises entre 0° et 30°.

Considérons ce cas limite. Le point N se confond alors avec le point O, centre du groupement considéré et la bobine voltmétrique est par conséquent insérée entre les points B et O. Les valeurs de l'inductance L et de la résistance ohmique r de cette bobine, pour une fréquence donnée n se trouvant alors liées par la relation

$$\frac{2\pi n L}{r} = \operatorname{tang} 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}},$$

on voit que le rapport $\frac{2\pi n L}{r}$ peut avoir encore des valeurs relativement grandes (à la limite la valeur $\frac{1}{\sqrt{3}}$), et comme nécessairement la valeur de la résistance ohmique r est grande, car il s'agit d'une bobine voltmétrique, il s'ensuit que les valeurs de la résistance inductive $2\pi n$ L, et par conséquent de l'inductance L, pourront être relativement grandes. Le champ magnétique engendré par le courant qui parcourt la bobine voltmétrique pourra donc être suffisamment grand.

Les considérations que nous venons d'exposer pour la mesure de la puissance, s'appliquent aussi à la mesure du travail ; il s'ensuit qu'il est possible de construire, suivant les principes indiqués, un wattheuremètre, à champ tournant Ferraris, qui donne la mesure exacte du travail, dans les installations triphasées, symétriquement chargées, par des appareils inductifs, pourvu toutefois que les conditions suivantes soient satisfaites :

1° L'inductance de l'armature du petit moteur à champ tournant Ferraris, doit être petite : ce qu'on obtient par une disposition convenable de l'armature et en n'employant pas de fer dans la construction de l'appareil.

2° Le mouvement de rotation de l'armature doit être freiné de telle sorte que le travail résistant, exclusion faite des frottements, soit proportionnel au carré de la vitesse de rotation ; on peut très convenablement obtenir une telle résistance par des courants de Foucault, engendrés dans un disque de cuivre ou d'aluminium qui tourne, entraîné par le mouvement rotatoire de l'armature, entre les extrémités polaires de certains aimants.

III. — Revenons maintenant à la considération d'un wattmètre ordinaire, dont la bobine ampèremétrique est insérée dans la branche OA du circuit (fig. 1) et dont la bobine voltmétrique, avec sa résistance additionnelle, est placée en dérivation entre les extrémités du circuit OA.

Remarquons que la relation :

$$V.I. \cos\varphi = K\delta$$

n'est exacte que si la différence de phase entre la différence de potentiel V et le courant dans le circuit de la bobine voltmétrique est négligeable ; dans le cas contraire, il faudrait écrire :

$$V.I. \cos(\varphi - \theta) = K\delta$$

θ étant la valeur angulaire de la différence de phase.

Supposons maintenant que, tout en laissant la bobine ampèremétrique de l'appareil, insérée dans le conducteur a, on place la bobine voltmétrique du même appareil en dériva-

Digitized by Google

tion entre les points C et A. On aura entre les extrémités de cette bobine une différence de potentiel V''' en avance de phase de 30°, par rapport à la différence de potentiel V. On aura alors, V''' étant égal à $V\sqrt{3}$,

$$V.I.\cos(\varphi + 30^\circ - \theta) = \frac{K}{\sqrt{3}} \cdot \delta ;$$

et dans le cas spécial où l'on place en série, avec la bobine voltmétrique, une résistance inductive telle qu'elle donne un angle $\theta = 30^\circ$, on aura :

$$V.I.\cos\varphi = W = \frac{K}{\sqrt{3}} \cdot \delta,$$

W étant la puissance du courant alternatif dans la branche OA du groupement considéré, soit le tiers de la puissance totale des trois courants, dans les trois branches du groupement.

Il s'ensuit qu'un électrodynamomètre, construit de la même façon qu'un wattmètre, mais dans lequel la bobine voltmétrique possède une inductance et une résistance ohmique telles que pour une fréquence donnée elle puisse engendrer un déplacement de phase de 30° entre le courant qui parcourt la bobine et la différence de potentiel entre les extrémités de la même bobine, peut servir pour la mesure exacte de la puissance, dans les installations triphasées symétriquement chargées, par des appareils inductifs.

Ce procédé est valable pour la mesure exacte de l'énergie.

Prenons un wattheuremètre Elihu Thomson, qui, comme on sait, est constitué par une petite machine dynamo-électrique, à courant continu, dépourvue de fer, dont la bobine inductrice est reliée en série dans le circuit, tandis que l'armature y est placée en dérivation. D'après ce que nous venons de dire, si l'on veut employer ce wattheuremètre pour la mesure exacte du travail, dans des installations triphasées, chargées d'une façon symétrique, par des appareils inductifs, il suffira de relier en série avec l'armature, une résistance inductive telle que le rapport de la résistance inductive totale à la résistance ohmique totale du circuit en dérivation, soit égal à : $\operatorname{tg} 30^\circ = 0{,}577$. Si, en effet, on fait le tarage de l'appareil sur un circuit pratiquement sans inductance, on obtiendra les valeurs de l'énergie totale, qu'il s'agit de mesurer, en multipliant par $\frac{3}{\sqrt{3}}$ ou $\sqrt{3}$ les indications données par l'appareil lorsque la bobine inductive est insérée en OA, et l'armature est placée entre les points C et A.

On doit observer, — ce qui augmente la valeur du procédé exposé — que, en appliquant cette méthode à la mesure de la puissance ou du travail, dans une installation triphasée, on peut toujours l'effectuer par un seul wattmètre ou wattheuremètre, même lorsque l'installation est chargée par des appareils inductifs.

Pour vérifier pratiquement si la résistance ohmique et l'inductance du circuit de la bobine voltmétrique sont entre elles dans le rapport requis, tel que $\theta = 30^\circ$, il suffira de faire un essai préalable, avec le wattmètre, en chargeant la ligne avec des charges non inductives, c'est-à-dire avec des lampes à incandescence. En plaçant, dans ces conditions, la bobine voltmétrique respectivement entre les points C et A, et entre B et A, on a

$$V.I.\cos 0^\circ = V.I = \frac{K}{\sqrt{3}} \cdot \alpha$$

$$V.I.\cos 60^\circ = \frac{1}{2} VI = \frac{K}{\sqrt{3}} \cdot \beta$$

Digitized by Google

α et β étant les indications de l'appareil dans les deux essais, et en divisant la première expression par la deuxième, on a $\alpha = 2\beta$; c'est-à-dire que les indications du wattmètre, dans les deux essais doivent être entre elles dans le rapport 1 : 2. Si au lieu d'un wattmètre, il s'agit d'un wattheuremètre, on pourra dire que dans les deux essais, les nombres des tours de l'appareil, pendant un temps donné, doivent être entre eux dans le rapport 1 : 2.

Cet essai préliminaire a encore pour but de servir à choisir entre les points C et B, le point qui doit être une extrémité du circuit dérivé de la bobine voltmétrique ; car c'est en correspondance du point C, qu'on a l'indication α double de l'indication β, laquelle est obtenue en plaçant la bobine voltmétrique entre B et A.

On peut d'ailleurs généraliser le procédé décrit. En effet il faut observer que le principe sur lequel il est basé, énoncé dans toute sa généralité, est le suivant : Dans un système triphasé donné, symétriquement chargé, on peut toujours considérer des différences de potentiel en avance de phase, de certains angles déterminés, sur la différence de potentiel V.

Donc, lorsqu'on dispose la bobine voltmétrique de l'appareil, de manière que entre les extrémités il y ait une différence de potentiel V'''' telle qu'elle soit en avance de phase sur la différence de potentiel V, d'un angle ψ égal à celui dont le courant I' dans le circuit de la bobine voltmétrique est en retard (par l'induction de la bobine) par rapport à la même différence de potentiel V, on obtient ce résultat que les deux courants I et I', qui parcourent respectivement les deux bobines, ampèremétrique et voltmétrique du wattmètre ou du wattheuremètre, sont déplacés de phase l'un par rapport à l'autre exactement de l'angle φ.

Cette différence de phase est précisément celle et celle seule, engendrée par les appareils qui utilisent l'énergie : ce qui est précisément nécessaire et suffisant pour permettre l'emploi du wattmètre et du wattheuremètre pour des mesures exactes sur les installations triphasées, avec des charges inductives.

En terminant, j'adresserai mes remerciements au « Tecnomasio Italien » et à la Maison Grimoldi, de Milan, qui-avec empressement m'ont fourni les appareils nécessaires à la vérification de mes prévisions, ainsi qu'aux ingénieurs L. Ferraris et Ricciardi, qui m'ont aidé avec beaucoup de zèle dans mes nombreux essais. J'ajouterai que les résultats de ces essais, dont je ne puis encore donner le compte rendu complet, démontrent d'une façon absolue la possibilité de l'application pratique des méthodes et appareils de mesure dont je viens d'exposer le principe.

Riccardo ARNO.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Sur la résistance des balais de dynamos, par **R.-B. Tibbats, L. Lowenberg** et **W.-G. Burns.** *The Electrical Review*, Londres, t. XLVI, p. 332, 23 février 1900.

Les auteurs ont fait récemment à l'Université de Columbia (Etats-Unis) plusieurs séries d'essais sur des balais de dynamos en cuivre feuilleté, en toile métallique de cuivre, en charbon et en graphite.

PREMIÈRE SÉRIE D'ESSAIS. — Ces essais ont été effectués avec une dynamo Edison d'une puissance de 35 kilowatts dont le commutateur portait 48 segments. Avec les balais en charbon, il fallait exercer une pression d'au moins 140 gr :

Digitized by Google

cm² pour obtenir des déviations constantes du voltmètre ; dans le cas contraire les déviations variaient constamment. Le même fait s'est présenté avec les balais en graphite mais à un moindre degré.

Cette première série d'essais a conduit aux conclusions suivantes :

1° La résistance au contact des balais, quelle que soit leur nature, varie en raison inverse de la densité du courant ;

2° Cette résistance reste sensiblement constante quand on accroît la pression, sauf pour les courants très faibles.

3° La chute de potentiel aux balais demeure presque constante quand l'intensité du courant augmente (elle croît cependant légèrement) ;

4° L'effort tangentiel ou frottement exercé sur les balais croît avec la pression.

5° Ce frottement croît généralement, mais pas toujours, avec l'intensité du courant pour les balais en cuivre feuilleté ou en toile métallique.

6° Ce frottement décroît au contraire quand l'intensité du courant croît pour les balais en charbon et en graphite. Pour ceux en charbon, la diminution est particulièrement sensible pour des vitesses comprises entre la moitié et les trois quarts de la vitesse normale ; pour ceux en graphite, elle se manifeste surtout pour la vitesse égale aux trois quarts de la vitesse normale.

7° Le frottement diminue considérablement quand le commutateur est graissé ; toutefois avec les balais en charbon et en graphite soumis à une faible pression, le frottement est accru légèrement.

8° Pour les balais en cuivre le frottement est considérablement augmenté dans le cas de la marche à demi-vitesse normale ; à trois quarts de vitesse normale, l'accroissement est extrêmement faible. Pour l'une et l'autre de ces vitesses, la résistance au contact est la même, sauf pour les faibles intensités de courant.

9° Pour les balais en toile métallique et en charbon les résultats à demi et à trois quarts de vitesse sont pratiquement les mêmes.

10° Pour les balais en graphite le frottement est plus grand et la résistance moindre à demi-vitesse qu'à pleine vitesse, mais pour une vitesse égale aux trois quarts de la vitesse normale, le frottement est à peu près le même qu'à pleine vitesse, la résistance étant toutefois un peu plus petite.

11° Les balais de cuivre glissent mieux, donnent lieu à une perte de tension plus constante et, quand ils sont bien ajustés, ne donnent pas plus d'étincelles que les balais de graphite et de charbon.

Deuxième série d'essais. — La dynamo employée avait une puissance de 200 kilowatts, une vitesse angulaire de 100 tours-minute et ses diverses parties avaient les dimensions suivantes :

Diamètre du commutateur	80 cm
Longueur du commutateur	52,5 cm
Vitesse périphérique du commutateur	4,23 m : sec
Nombre de segments	268
Epaisseur des segments	8,6 mm
Epaisseur comptée d'un milieu à l'autre des lames de mica.	9,4 mm
Nombre de séries de balais.	8
Nombre de balais par série.	8

Le courant entrait dans la machine par une série de balais, passait à travers les bobines de l'armature, puis à travers le balai en essai. Pour éviter toute chute de voltage due au courant dans les bobines, le balai du voltmètre était placé sur la même lame du commutateur que le balai en essai.

On trouva qu'il était possible d'employer avec les balais en charbon et en graphite des pressions plus petites que dans les essais précédents sans produire d'étincelle. Le commutateur étant sec, il n'y avait plus d'étincelles dès que la pression dépassait 21 gr : cm² pour les balais en graphite et 91 gr : cm² pour les balais en charbon ; toutefois quand le commutateur était huilé, les balais en charbon donnaient des étincelles avec la pression indiquée ci-dessus dans le cas où l'intensité du courant était grande.

Pour le graissage du commutateur, l'huile employée pour le graissage des cylindres n'est pas à recommander, car elle est trop épaisse, donne lieu à la formation de cambouis qui accroît la résistance et ne peut être enlevé que par un frottement énergique au papier de verre. Au contraire, l'huile à machine convient fort bien, car elle ne produit pas de cambouis et diminue la résistance des balais de cuivre.

De ces essais, les auteurs ont déduit les conclusions suivantes :

Frottement. — Quand le commutateur est sec, le frottement : 1° croît en même temps que la pression ; 2° est plus faible pour les balais en toile que pour les balais feuilletés, plus faible

Digitized by Google

pour ceux en charbon que pour ces derniers, enfin plus faible encore pour ceux en graphite.

Avec le commutateur huilé : 1° le frottement croît avec la pression, mais non proportionnellement ; 2° entre les limites de pression de 140 et 490 gr : cm² et sans passage du courant, le frottement des balais en toile métallique est légèrement plus grand que celui des balais feuilletés ; entre des pressions de 245 et 1050 gr : cm², et toujours sans courant, le frottement des balais de graphite est plus grand que celui de ceux de charbon; entre des pressions de 175 et 595 gr : cm², le frottement des balais en cuivre surpasse celui des balais en charbon et en graphite; 3° le frottement des balais en cuivre et en charbon diminue quand l'intensité du courant croît ; 4° le graissage augmente le frottement quand le courant ne passe pas.

Résistance. — Avec le commutateur sec, on a trouvé : 1° la résistance au contact décroît quand l'intensité du courant croît ; la variation est très grande pour les faibles intensités, mais pour les grandes intensités cette variation tend vers une limite, de sorte que la résistance varie sensiblement en raison inverse de la pression ; 2° la résistance varie dans le même sens que la pression ; la variation très grande lorsque la pression est petite, devient ensuite très petite à partir d'un certain point critique ; 3° l'influence de la pression sur la variation de la résistance est plus petite dans le cas des faibles courants que dans celui des courants intenses ; lorsque l'intensité croît, le point critique devient mieux défini et correspond à une pression plus petite, et tout accroissement de pression au delà de ce point a de moins en moins d'effet, de sorte que finalement un accroissement de pression ou d'intensité n'affecte que très légèrement la résistance ; 4° pour les balais en toile métallique il n'y a pas de point critique bien défini ; 5° la résistance des balais de charbon est un peu plus faible que celle des balais de graphite ; 6° la résistance des balais feuilletés est à peu près la même que celle des balais en toile métallique pour les faibles courants, mais elle la surpasse considérablement dans le cas des courants intenses ; 7° la résistance des balais en charbon et en graphite est beaucoup plus grande que celle des balais en cuivre.

Avec le commutateur huilé, on trouva : 1° l'huile à cylindre accroît la résistance des balais de graphite, principalement pour les courants de faible intensité; elle accroît aussi la résistance des balais de charbon dans le même cas, mais elle ne produit pas d'effet sensible dans le cas des courants intenses ; 2° l'huile à machine diminue la résistance des balais feuilletés sous faible pression ; elle diminue également et dans une plus forte proportion celle des balais en toile métallique.

Troisième série d'essais. — Dans ces essais, les auteurs ont comparé les résultats obtenus avec des commutateurs, les uns grands et les autres petits, tournant avec une vitesse tangentielle d'environ 4,25 m : sec. Ils ont obtenu les résultats suivants :

Frottement. — Avec les commutateurs secs : 1° le frottement des balais en graphite et en cuivre feuilleté est beaucoup plus faible avec les grands commutateurs qu'avec les petits ; quand il ne passe pas de courant, le frottement du balai en cuivre est légèrement plus faible avec les grands commutateurs qu'avec les petits tant que la pression ne dépasse pas 420 gr : cm², tandis qu'au delà c'est l'inverse qui a lieu; le frottement des balais en charbon est aussi moindre avec les grands commutateurs qu'avec les petits tant que la pression est inférieure à 910 gr : cm², l'inverse se produisant au delà de cette pression ; 2° avec les petits commutateurs le frottement décroît, aucun courant ne passant, dans l'ordre suivant : cuivre feuilleté, graphite, carbone, toile métallique ; 3° avec les grands commutateurs, le frottement des balais en charbon et en graphite est sensiblement indépendant de l'intensité du courant tandis qu'avec les petits commutateurs ce frottement décroît quand l'intensité augmente.

Avec les commutateurs huilés : 1° le frottement est généralement plus considérable avec les grands commutateurs quand ils sont huilés que quand ils ne le sont pas ; avec les petits commutateurs et dans le cas des balais en cuivre, le graissage diminue le frottement, sauf toutefois lorsque la pression est très faible ; 2° le frottement des balais en graphite et en toile métallique diminue légèrement quand l'intensité du courant croît et lorsqu'on opère avec les petits commutateurs (dans les essais de frottement faits sur les commutateurs, la vitesse d'un point de la surface était de 7,90 m : sec).

Résistance. — Les essais effectués avec le

Digitized by Google

commutateurs secs ont donné les résultats suivants : 1° dans le cas des balais en graphite, la résistance de contact est plus grande avec les petits commutateurs qu'avec les grands commutateurs pour de faibles courants ; elle est à peu près la même avec les deux genres de commutateurs pour les courants intenses ; 2° dans le cas des balais en charbon, la résistance est plus grande avec les grands commutateurs qu'avec les petits ; la différence diminue à mesure que l'intensité du courant augmente ; 3° avec des balais feuilletés, soumis à une pression de 98 gr : cm² ; la résistance est sensiblement la même pour les deux genres de commutateurs, quelle que soit l'intensité du courant ; quand la pression croît elle diminue constamment avec les grands commutateurs, tandis qu'elle demeure sensiblement constante avec les petits commutateurs ; 4° les balais en toile métallique sous une pression de 105 gr : cm² et pour une densité de courant de 12 ampères : cm² ont une résistance légèrement plus grande avec les petits commutateurs qu'avec les grands ; quand la densité de courant devient un peu faible, la différence, toujours de même sens, est beaucoup plus considérable.

En opérant avec des commutateurs huilés, on a trouvé que : 1° le graissage diminue considérablement la résistance des balais feuilletés ou en toile métallique, lorsqu'on emploie les petits commutateurs ; la diminution se fait principalement sentir dans le cas des balais feuilletés pour les faibles intensités de courant et dans le cas des balais métalliques pour les grandes intensités ; 2° la résistance est aussi réduite pour les balais en charbon et en graphite, sauf toutefois pour les faibles courants ; avec les balais en graphite, la diminution devient de moins en moins marquée à mesure que la pression croît.

J. R.

Sur les avantages de l'emploi des génératrices à courants diphasés dans les stations de distribution d'éclairage, par **H. Girgensohn.** *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVII, p. 625-627, 10 décembre 1899.

L'auteur se propose de montrer qu'il serait avantageux au point de vue de l'utilisation des machines génératrices de substituer les courants alternatifs diphasés aux courants alternatifs simples pour l'alimentation des réseaux de distribution urbains et s'étonne que jusqu'ici le nombre des réseaux de ce genre à courants biphasés soit si restreint (1).

Le système que préconise l'auteur consistant à alimenter les moteurs avec l'une des phases ou avec les deux phases d'un circuit diphasé à trois fils et à brancher les appareils d'éclairage sur les fils extrêmes, M. Girgensohn commence par faire voir que ce système ne conduit pas à employer des alternateurs plus encombrants. Il montre donc qu'à dimensions égales, un alternateur diphasé peut alimenter sensiblement le même nombre de lampes branchées entre les fils extrêmes qu'un alternateur monophasé fournissant la même différence de potentiel efficace entre ces fils (fig. 1 et 2).

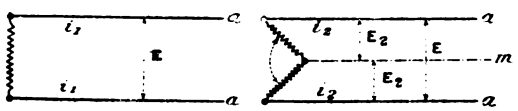


Fig. 1 et 2.

Pour cela il s'appuie sur le fait, résultant du calcul et vérifié par la pratique, que *à dimensions égales*, la puissance

$$W_1 = i_1 E \cos \varphi$$

d'un alternateur monophasé fournissant un courant d'intensité i_1 sous une différence de potentiel E, est les trois quarts de la puissance maximum

$$W_2 = 2 i_2 E_2 \cos \varphi$$

d'un alternateur diphasé fournissant à chacune des phases un courant d'intensité i_2 sous une différence de potentiel E_2 (égale à $E : \sqrt{2}$ puisque la différence de potentiel entre les fils extrêmes est supposée E), quand les deux alternateurs fonctionnent avec le même facteur de puissance.

Ceci admis, comme la puissance que peut fournir l'alternateur biphasé quand tous les appareils sont branchés entre les fils extrêmes a pour valeur

$$W'_2 = i_2 E \cos \varphi = \sqrt{2}\, i_2 E_2 \cos \varphi = \frac{W_2}{\sqrt{2}},$$

(1) D'après la statistique des stations centrales allemandes publiée par la *Elektrotechnische Zeitschrift*, du 1er mars 1899, il y avait alors, sur 489 installations en exploitation : 397 à courant continu, 37 à courant alternatif simple, 55 à courants triphasés, 2 employant le système monocyclique et une seule à courants diphasés.

Digitized by Google

on aura

$$W'_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{4}{3} W_1 = \frac{1}{1,06} W_1 ,$$

c'est-à-dire que même dans les conditions désavantageuses de fonctionnement que l'on a admises, l'alternateur diphasé fournit sensiblement la même puissance que l'alternateur monophasé.

Ce point établi l'auteur montre que lorsque le réseau d'éclairage alimente des moteurs (fig. 3

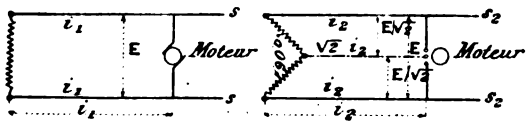


Fig. 3 et 4.

et 4) l'emploi des alternateurs diphasés devient avantageux.

La puissance des moteurs utilisés sur les réseaux urbains oscille le plus souvent entre un demi-cheval et deux chevaux. Adoptons pour valeur moyenne 1, 25 cheval. D'après des essais faits sur divers moteurs provenant d'une des principales maisons allemandes, pour des moteurs de cette puissance à courant monophasé, le facteur de puissance cos φ est 0,70 et le rendement η est 67,2 p. 100; pour ceux à courants diphasés ces quantités sont respectivement 0,73 et 73,6 p. 100. Il résulte de là que pour une même puissance utilisée W la puissance exigée des génératrices sera

$$W_1 = \frac{W}{\eta \cos \varphi} = \frac{W}{0,672 \times 0,7} = 2,12 \text{ W}$$

avec le courant alternatif simple, et

$$W_2 = \frac{W}{0,736 \times 0,73} = 1,88 \text{ W}$$

avec les courants diphasés.

En troisième lieu l'auteur montre que le poids de cuivre d'une canalisation à courants diphasés utilisée comme il le propose, n'est pas beaucoup plus grand que celui d'une canalisation à courant alternatif simple pour une même perte de voltage en ligne consentie et une même puissance utilisée.

Pour la dernière canalisation la section totale $S_1 = 2s_1$ des deux conducteurs est liée à la chute de potentiel consentie ΔE par la relation

$$S_1 = \frac{4 k l i_1}{\Delta E} = \frac{4 k l W_1}{E \Delta E} ,$$

et pour la canalisation diphasée, en supposant la même distance l entre le générateur et le récepteur,

$$S_2 = \frac{6\sqrt{2}\, k l i_2}{\Delta E} = \frac{6 k l W_2}{E \Delta E} .$$

Par suite on a

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{2 W_1}{3 W_2} .$$

Si les appareils d'utilisation sont des lampes branchées en nombre égal sur chaque phase il résulte de cette relation que la section totale des conducteurs de la canalisation à courant monophasé ne sera que les deux tiers de la section totale de ceux de la canalisation diphasée, car alors $W_1 = W_2$. Mais si l'appareil d'utilisation est un moteur, le rapport des sections s'élève à puissance consommée égale, car ce rapport devient

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{2 \times 2,12 W}{3 \times 1,88 W} = \frac{1}{1,33} .$$

Il s'élève encore si on suppose que la charge de chacune des canalisations est composée de moteurs et de lampes, ces derniers appareils étant branchés sur les conducteurs extrêmes dans le cas du réseau biphasé. En effet on a alors,

$$S_1 = S_{1e} + S_{1m} = \frac{4 kl (W_{1e} + W_{1m})}{E \Delta E} ,$$

$$S_2 = S_{2e} + S_{2m} = \frac{4 kl W_{2e}}{E \Delta E} + \frac{6 kl W_{2m}}{E \Delta E} ,$$

les indices e et m indiquant des quantités se rapportant respectivement à l'éclairage et à la force motrice. Si l'on remplace dans ces expressions les puissances fournies par le réseau par les puissances utilisées, il vient

$$S_1 = 4kl \frac{W_e + 2,12 W_m}{E \Delta E} ,$$

$$S_2 = \frac{4 kl W_e}{E \Delta E} = \frac{6 kl \times 1,88 W_m}{E \Delta E} .$$

En particulier dans le cas où la puissance utilisée en force motrice est le quart de celle utilisée pour l'éclairage, on a

$$S_1 = \frac{kl W_e}{E \Delta E} (4 + 2,12),$$

$$S_2 = \frac{kl W_e}{E \Delta E} \left(4 + \frac{6 \times 1,88}{4}\right);$$

Digitized by Google

donc

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{6,12}{6,82} = \frac{1}{1,1}.$$

Le système de distribution par courants biphasés avec appareils d'éclairage branchés sur les fils extrêmes et appareils moteurs alimentés par les deux phases, n'exige donc ni alternateurs plus grands, ni canalisation plus coûteuse que le système de distribution par courant alternatif simple et il a sur ce dernier l'avantage de donner lieu à un meilleur rendement de la puissance transmise aux moteurs. La figure 5

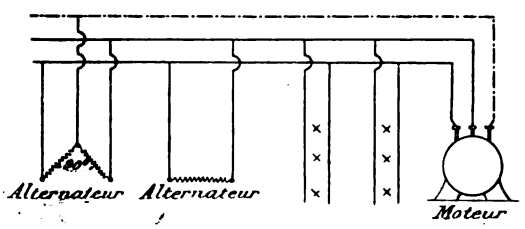


Fig. 5.

montre d'ailleurs que l'alimentation peut être faite à la fois par des alternateurs diphasés et des alternateurs monophasés. H. B.

Essais d'isolateurs en verre pour lignes industrielles, par **Quantin.** *Bulletin des Usines électriques*, 1899, n° 24, p. 383.

On sait que si les isolateurs en verre possèdent certains avantages qui les ont fait employer sur les lignes télégraphiques et téléphoniques américaines, ils présentent aussi certains inconvénients qui ont jusqu'ici empêché leur emploi de se généraliser (1). D'après M. Quantin, qui n'hésite pas à appeler l'isolateur en verre, l'isolateur de l'avenir, toutes les difficultés de fabrication et d'emploi seraient aujourd'hui vaincues.

La casse spontanée des isolateurs en verre par suite d'un recuit insuffisant est évitée par un procédé spécial de recuisson ; leurs propriétés hygrométriques, si nuisibles au point de vue de l'isolement sont éliminées par l'emploi d'un verre peu riche en sels alcalins ; le moulage, rendu difficile par l'abaissement de la teneur en alcalis, s'effectue néanmoins avec une très grande régularité.

Les essais, faits au Laboratoire central d'électricité, ont portés sur une dizaine d'isolateurs en porcelaine à double cloche du commerce et un même nombre d'isolateurs en verre de fabrication nouvelle. Les dimensions des isolateurs en porcelaine étaient : hauteur, 10 cm, diamètre à la base 7 cm, diamètre au col 3,3 cm ; celles des isolateurs en verre : hauteur 9,5 cm, diamètre à la base 8 cm, diamètre au col 3,8 cm. Les mesures de la résistance d'isolement ont donné les résultats suivants, les résistances étant exprimées en megohms.

CONDITIONS atmosphériques.	RÉSISTANCE d'isolement en megohms d'un isolateur en		RAPPORT des résistances d'isolem.
	Porcelaine	Verre	
A l'intérieur, salle non chauffée (13°) . . .	166000	785000	4,7
Beau temps (13°). . .	8850	48600	5,5
Couvert, il avait neigé le matin (4°)	528800	4140000	7,8
Chute de neige. . . .	217	4780	22
Beau temps sec . . .	2420000	17100000	7
Couvert, il avait plu le matin (13°).	8000	15400	1,9
Pluie fine (12°). . . .	419	4520	10,8
Couvert, température douce.	15500	36400	2,35
Pluie	199	11400	57,3
Temps couvert, après pluie prolongée .	13600	71000	5,2
Pluie d'orage (16°) . .	360	2120	5,9
Pluie (13°).	2440	19050	7,8

(1) Dans son ouvrage sur les *Canalisations électriques* publié l'an dernier dans la collection Léauté, M.-R.-V. Pircou disait à ce propos :

« Le verre est d'un emploi presque général en Amérique pour les usages télégraphiques et téléphoniques ; mais il n'y a jamais été employé, à notre connaissance, pour les lignes industrielles. Son avantage est une homogénéité certaine ; il ne peut guère présenter de fentes qui échappent à la vue. Mais on peut craindre qu'il ne soit hygroscopique. Toutefois, le principal obstacle à son emploi semble résider en ce qu'il ne peut se fabriquer sans de grands frais d'outillage pour chaque modèle, alors que la porcelaine n'en nécessite que d'insignifiants.

» La porcelaine offre les mêmes garanties que le verre à la condition d'être *vitrifiée d'une manière parfaite*, et à cœur. Il ne faut pas hésiter à casser quelques pièces d'une fourniture pour se rendre compte de la vitrification. Il faut encore que l'isolateur soit bien dépourvu de fentes ou criques, que l'émaillage superficiel peut masquer. Sous ce double rapport, des isolateurs très minces seraient préférables aux cloches épaisses si leur fragilité n'était un obstacle absolu. A l'essai sous des voltages très élevés, une simple tasse à thé résiste parfaitement alors que de gros isolateurs sont rompus. Ceci montre bien l'importance de la vitrification. »

Digitized by Google

Des essais faits avec des tensions croissantes de 5 000 à 14 000 volts ont donné

	Porcelaine.	Verre.
de 5 000 à 7 000 volts	lueurs violettes visibles au col	pas de lueurs
de 7 000 à 10 000 volts	lueurs plus vives	lueurs violettes
de 10 000 à 13 000 volts	les trois isolateurs sont percés	lueurs violettes
de 13 000 à 14 000 volts maintenues, à trois reprises, 5 ou 10 minutes.	les isolateurs ont été enlevés	lueurs violettes mais aucune casse

ÉLECTROCHIMIE

Sur la préparation électrolytique de l'acide perchlorique et de ses sels, par **F. Fœrster**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IV, p. 386-388, 1898 ; traduit dans *L'industrie Electrochimique*, t. III, p. 130, décembre 1899.

Dans des recherches antérieures (1) l'auteur a montré que lorsqu'on électrolyse une solution basique d'un iodate alcalin il se produit une réduction à la cathode. Il n'en est pas de même pour les chlorates, au moins si l'on emploie une cathode de platine, de plomb, de cuivre, de zinc ou de nickel. En employant une cathode de fer ou de cobalt, on peut cependant réduire électrolytiquement les chlorates en chlorures. Nous ne traiterons ici que de l'électrolyse en solution neutre ou acide ; dans ce cas, le chlorate est oxydé en perchlorate, fait déjà observé en 1816 par Stradion (2), et en 1847 par Kolbe (3).

Pour étudier l'influence des diverses conditions extérieures sur l'oxydation qui se produit, on électrolysait 100 centimètres cubes d'une solution de titre déterminé entre deux électrodes de platine de 12 centimètres carrés de surface : le tout était placé dans un cylindre de verre fermé par un bouchon hermétique, au travers duquel passait, outre les fils conducteurs, un tube de verre destiné au dégagement des gaz. On analysait le gaz dégagé concurremment avec celui qui se forme dans un voltamètre à gaz placé dans le circuit. D'après la teneur en oxygène des deux gaz on déterminait quel était le pour cent du courant utilisé pour l'oxydation. Les rendements exprimés en pour cent du rendement théorique, obtenus dans diverses conditions, sont indiqués dans le tableau suivant. Les densités de courant sont exprimées en ampères par décimètre carré.

Température	17°-20°								75°		
Densité de courant	16,6		8,3		4,1		0,83		16.6		8.3
Durée de l'expérience	5'	3/4 h.	10'	1 h. 1/2	20'	3 h.	2 h.	4 h.	5'	3/4 h.	10'
Rendement avec une solution à											
5 p. 100 $KClO^3$	75	64	64	65.	»	»	33	43	»	»	0,0
4,2 p. 100 $NaClO^3$	75	69	63,5	63,5	63	56	»	»	»	»	»
17 p. 100 $NaClO^3$	89	90	83	88	67	83	50	46	13	8	»
6,5 p. 100 $HClO^3$	»	»	79	87	»	»	»	»	»	»	»

Les solutions de chlorate de soude et de potasse employées étaient neutres ; celles du premier contenaient un peu de sel marin qui se transforme en chlorate, puis en perchlorate, sans troubler le phénomène. On a choisi les concentrations de façon que les solutions de chlorate de soude soient équivalentes à celle de chlorate de potasse à 5 p. 100. La solution d'acide chlorique était à peu près deux fois équivalente à celle du chorate.

Au bout de peu de temps d'électrolyse, le perchlorate peu soluble se précipitait de la solution de chlorale de potasse à l'anode. On peut aussi préparer ce sel en additionnant de chorure de potassium une solution de perchlorate de soude ou d'acide perchlorique. Le sel obtenu ainsi à partir de l'acide perchlorique perdait au rouge 45,9 p. 100 de son poids ; le sel $KClO^4$ doit en perdre 46,2 p. 100.

(1) *Zeits. f. Eleck.*, t. IV, p. 270.

(2) *Gibberts Annalen*, t. LII, p. 219.

(3) *Journ. f. prak. Chimie*, t. XLI, p. 138.

Digitized by Google

Le tableau précédent montre que, pour des densités de courant pas trop faibles, le rendement croît en même temps que la concentration. Du fait de la faible solubilité du chlorate de potasse à basse température et du fait que l'on ne peut, dans ce cas, employer des solutions chaudes, il est préférable de se servir du chlorate de soude pour préparer les perchlorates.

Voici les résultats obtenus avec une solution à 50 p. 100 de $NaClO^3$, à la température ordinaire, avec une densité de courant de 8,3 ampères-décimètre carré. La tension était de 4,5 volts aux bornes du bain pour un écartement des électrodes de 1,5 cm.

Temps depuis le début de l'essai.	Rendements en p. 100 rendement théorique.
10′	86 (1)
5 heures	95
22 »	98
24 h. 1/2	95
27 h. 1/4	24
29 h. 1/2	28

Pour transformer en perchlorate 50 gr de chlorate de soude avec l'intensité employée, soit 1 ampère, il faut théoriquement 25 heures. On voit que l'effet utile du courant et la proportion de chlorate transformé sont très considérables. En doublant la densité de courant, on n'observe pas d'autre résultat qu'une diminution de la moitié environ de la durée de l'expérience, avec élévation du voltage à 5,2 volts. A la fin de l'expérience on sentait de plus en plus fortement l'ozone.

Les solutions de perchlorate de sodium obtenues dans les essais qui précèdent furent traitées par la quantité calculée de KCl. On obtint ainsi en $KClO^4$ les 78 p. 100 — 85 p. 100 de la quantité de $NaClO^3$ en solution. Le sel obtenu retient de faibles portions de chlorate. En mesurant simplement l'oxygène dégagé, on en obtient 45,7 p. 100 à 45,5 p. 100 au lieu de 46,2 p. 100 que doit dégager le sel pur.

Avec les solutions de $KClO^3$ les résultats sont, comme nous l'avons vu, moins avantageux. On fit un essai avec 3 litres d'une solution à 5,6 p. 100 de ce sel en employant une anode de platine placée entre deux cathodes de nickel. De cette façon on a pu obtenir les 82 p. 100 du rendement théorique déterminé au moyen d'un voltamètre à cuivre placé dans le circuit ; mais, une fois que la moitié environ du chlorate est oxydée, le rendement décroît très rapidement. La production de perchlorate s'effectue aussi bien en solution acide qu'en solution neutre. En solution alcaline on n'observe qu'au début une oxydation énergique, d'autant plus forte que la densité de courant est plus élevée, mais qui décroît au bout de quelque temps. La série d'observations suivantes effectuées sur une solution à 50 p. 100 de $NaClO^3$ contenant 1 p. 100 de NaOH, avec une intensité de courant de 1 ampère (densité de courant, 8,3 ampères-décimètre carré), montre bien ce fait :

Les quantités d'oxygène employées à l'anode étaient, en pour cent de l'oxygène produit par le courant :

Au bout de 10 minutes . .	20 p. 100
Au bout de 3 heures . . .	8 »

On éleva alors l'intensité à 2,3 ampères (densité de courant, 23,3 ampères-décimètre carré), et l'on observa :

Au bout de 10 minutes . .	54 p. 100
« 1/2 heure. . .	53 »
» 1 heure 1/3. .	44 »
» 4 heures. . .	2 »

Il ne semble donc pas possible, d'après nos expériences, d'obtenir directement les perchlorates par électrolyse des chlorures, car le produit intermédiaire, le chlorate, ne peut se former qu'en solution alcaline, l'alcali étant produit par le courant.

Sur les propriétés et les applications de l'aluminium, par **A. Ditte**. *Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 919, t. CXXVIII, p. 195, 793. 971 ; 5 décembre 1898, 23 janvier, 27 mars et 17 avril 1899 et par **H. Moissan**, *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 875, 10 avril 1899 (1).

Dans la première de ses communications

(1) Dans un autre essai on a obtenu 95 p. 100 au bout de 10 minutes.

(1) L'importance de ces communications au point de vue des applications de l'aluminium nous engage à profiter de la citation qui en était faite dans l'article de M. Guillaume publié dans le dernier numéro de ce journal pour en donner une analyse succincte bien que par la date de leur publication elles aient quelque peu perdu de leur actualité.

Digitized by Google

(*C. R.*, t. CXXVII, p. 919-924) M. Ditte décrit quelques expériences qui montrent que la résistance que l'aluminium oppose à la plupart des agents chimiques, n'est qu'apparente et résulte de la formation à la surface du métal, par suite de la réaction, d'une couche protectrice qui empêche la continuation de la réaction. Déjà en 1890 (*C. R.* t. CX, p. 573) il avait établi que si l'aluminium paraît n'attaquer ni l'eau, ni les acides organiques, ni les acides sulfurique et azotique étendus, quoique sa chaleur d'oxydation de 131 calories par atome d'oxygène doive lui faire attribuer une énergie chimique voisine de celle du calcium, le fait tient à ce que le métal se recouvre immédiatement d'une couche d'hydrogène, de bioxyde d'azote ou d'alumine, continue, imperméable et très adhérente qui supprime tout contact entre l'aluminium et le liquide dans lequel on l'immerge : il suffit en effet de faire le vide pour que, dans les cas où la couche protectrice est gazeuse, l'action se continue jusqu'à dissolution complète de l'aluminium. Il avait également établi que certaines solutions salines, celles de sulfates et d'azotates, réagissent sur l'aluminium. Ses nouvelles expériences montrent que les chlorures, bromures, iodures, le carbonate de sodium et l'ammoniaque réagissent également.

Chlorures, bromures et iodures. — La connaissance des réactions auxquelles donnent lieu le chlorure de sodium ou sel marin est particulièrement importante en raison de l'emploi de l'aluminium pour la confection des ustensiles de cuisine. Théoriquement ce sel pourrait donner du chlorure d'aluminium et de la soude, la réaction étant fortement exothermique; mais la soude décompose le chlorure d'aluminium et il se forme en définitive une couche protectrice d'alumine.

L'alumine étant soluble dans les acides il était à prévoir que la réaction ne pourrait se trouver arrêtée si l'on additionnait la solution saline d'un acide ou d'un sel acide. C'est ce que des expériences faites avec des solutions additionnées d'acide acétique, tartrique, citrique, oxalique, etc., ou de crème de tartre, ou encore de bioxalate de potassium, ont permis de vérifier.

Le chlorure de potassium, les iodures et les bromures alcalins se comportent comme le sel marin. Il en est de même des bromures alcalino-terreux et du chlorure de magnésium.

Carbonate de sodium. — Il y a réaction, même à froid ; il se forme de l'aluminate de sodium et du bicarbonate de sodium qui restent en solution et de l'hydrogène qui se dégage. Cet hydrogène est pur, sans trace de gaz carbonique, car, comme l'a montré Deville, ce gaz décompose l'aluminate de sodium pour donner du carbonate de sodium et de l'alumine. Pour cette même raison la réaction de la solution de carbonate de sodium sur l'aluminium s'arrête quand cette solution ne contient plus que du bicarbonate, et l'aluminium peut rester indéfiniment inaltéré dans une solution de bicarbonate.

Ammoniaque. — Il se forme de l'aluminate d'ammonium avec dégagement d'hydrogène ; au bout de peu de temps le dégagement se ralentit et l'attaque cesse par suite de la formation d'une couche protectrice d'alumine résultant de l'action du gaz carbonique de l'air sur l'aluminate. Quand on opère avec de l'aluminium impur, comme l'avait fait Woehler, l'attaque est très lente et est bientôt arrêtée par une couche formée par les impuretés.

Les expériences décrites dans la seconde communication (*C. R.*, t. CXXVIII, p. 195-201), établissent que l'altération de l'aluminium est notablement facilitée par l'intervention de l'oxygène et du gaz carbonique de l'air.

L'une d'elles consistait à plonger partiellement une lame d'aluminium dans une solution de sel marin additionnée d'acide acétique ; la lame était fortement corrodée dans le voisinage de la surface libre du liquide.

Dans une autre on prenait une solution de sel marin, contenant 30 gr de ce sel par litre d'eau, solution qui lorsqu'elle est pure n'agit pas sur l'aluminium ; une lame de ce métal plongée en partie dans la solution est attaquée près de la surface de séparation du liquide et de l'air. Cette attaque s'explique comme il suit : il se produit du chlorure d'aluminium et de la soude; le gaz carbonique de l'air transforme la soude en carbonate qui, comme on l'a vu plus haut, réagit sur l'aluminium en donnant du bicarbonate et de l'aluminate de sodium ; ce dernier sel est décomposé partiellement par l'eau en donnant de la soude et de l'alumine cristallisée ; celle-ci se déposant en flocons, ne protège que très imparfaitement l'aluminium et la soude pro-

Digitized by Google

duite provoque de nouvelles réactions ; la corrosion de l'aluminium sera donc continue.

Avec des solutions de moindre concentration (5 gr de sel par litre) la corrosion est plus lente, mais elle se produit. Dans l'eau de Seine elle-même une lame d'aluminium est lentement oxydée.

L'eau de mer donne lieu aux mêmes phénomènes. Les chlorures de magnésium et de calcium produisent bien, par l'intervention du gaz carbonique de l'air, un enduit insoluble de carbonates de ces métaux, mais cet enduit est perméable et n'empêche pas la corrosion par le carbonate de sodium provenant de l'action du sel marin et du gaz carbonique.

D'ailleurs, dans certains cas, la présence de chlorures de magnésium et de calcium, loin de diminuer la rapidité de la corrosion, peut augmenter celle-ci. C'est ainsi, par exemple, qu'une goutte d'eau salée pure placée sur lame d'aluminium ne pourra produire qu'une faible corrosion, l'évaporation de l'eau de la goutte mettant fin aux réactions ; mais si cette eau contient, comme l'eau de mer, des chlorures de magnésium et de calcium, ces sels, très hygrométriques, empêcheront la dessiccation complète, et la corrosion continuera indéfiniment grâce à leur présence.

Dans la troisième note (*C. R.*, t. CXXVIII, p. 793-799), M. Ditte relate les résultats d'essais faits sur des tôles d'aluminium servant à la confection d'objets d'équipement militaire ainsi que ceux de l'examen d'objets d'équipement réformés provenant du corps expéditionnaire de Madagascar.

La première tôle renferme 3 p. 100 de cuivre avec 1 p. 100 d'impuretés consistant principalement en fer et en silicium ; elle sert à faire les gamelles, les marmites, les caisses à eau, etc. La seconde contient 5 à 6 p. 100 de cuivre avec 1 p. 100 au maximum des mêmes impuretés ; elle sert à la confection des anneaux et des chaînettes des gamelles, des anses de marmites, etc. Leurs propriétés diffèrent peu de celles de l'aluminium non allié. Ces tôles sont attaquées par l'acide sulfurique (2 p. 100 d'acide), par les carbonates alcalins (2 p. 100), par le chlorure de sodium (8 gr par litre).

L'examen d'un fragment de caisse à eau a montré que le métal est peu altéré sur la surface extérieure, qui est recouverte d'un enduit goudronneux ; il est profondément attaqué sur la surface qui était en contact avec l'eau. La tôle est devenue schisteuse jusqu'à une certaine profondeur et elle est alors très fragile. Elle est recouverte d'une couche d'alumine trihydratée cristallisée. En dissolvant cette couche dans de l'acide sulfurique dilué, la surface métallique mise à nu est caverneuse. En mettant digérer dans l'eau un autre fragment, l'eau devint légèrement alcaline, et on put y déceler la présence du chlore. Le métal « malade » portait donc en lui-même le germe de sa destruction puisque le chlorure de sodium en présence de l'air produit une corrosion continue.

Des fragments de gamelles et de marmites donnèrent lieu à des constatations analogues. Ils étaient « malades » également et leur maladie provenait sans doute du sel marin contenu dans les aliments que ces objets ont contenus. Mais il y avait pour eux une autre cause de corrosion : ils peuvent en effet avoir été oubliés ou forcément abandonnés sur le feu pendant assez longtemps pour que, le liquide que l'on chauffait s'étant évaporé, ils se soient trouvés portés à une température élevée ; refroidis ensuite brusquement soit par extinction du feu, soit par affusion d'eau froide ils ont été trempés ; or, des essais ont montré que la trempe donne à la tôle d'aluminium employée pour la confection de ces objets une structure granuleuse qui facilite la pénétration des agents de destruction.

En terminant cette communication, M. Ditte fait observer que la présence du cuivre dans l'alliage doit augmenter la corrosion. En effet, ce métal, moins rapidement attaqué que l'aluminium, se trouve mis à nu et forme avec l'aluminium un couple galvanique qui active l'attaque.

Il faut aussi remarquer que le nettoyage des ustensiles de cuisine en aluminium présente des difficultés. Les solutions alcalines, excellentes pour enlever la graisse, dissolvent le métal ; de plus elles pénètrent dans les replis du métal, les fissures accidentelles et là, grâce à l'oxygène et à l'humidité de l'air, elles oxydent peu à peu l'aluminium. Les nettoyages avec de l'eau froide ou chaude mélangée de sable fin, plus satisfaisants pour la conservation des ustensiles, sont à rejeter au point de vue hygiénique, le sable fin pouvant s'introduire aussi dans les cavités et y emprisonner des substances alimentaires chargées de germes et de microbes.

Digitized by Google

Enfin M. Ditte ajoute : « Ces considérations, qui s'appliquent à tous les objets d'aluminium, se rattachent immédiatement à l'ensemble des propriétés véritables de cet élément; celles-ci en font un corps en réalité très altérable ; elles me paraissent de nature à inspirer quelques doutes et à dissiper quelques illusions relativement aux applications industrielles possibles de ce métal. »

Dans sa communication à la séance de l'Académie du 10 avril (*C. R.*, t. CXXVIII, p. 895-901), M. Moissan déclare que, sans critiquer en rien les expériences de M. Ditte, il ne partage pas ses idées à propos des conclusions qu'il en tire au point de vue des applications de l'aluminium.

Il fait observer que les impuretés de l'aluminium jouent un rôle important dans la corrosion et il rappelle que la pureté de l'aluminium fourni par l'industrie a constamment été en augmentant : alors que les analyses faites en 1893 indiquaient une teneur en aluminium de 90,55 à 96,33 p. 100, celles faites en 1897 donnèrent 96,74 à 99,80 p. 100 (1); aussi croit-il que la détérioration constatée sur les objets provenant du corps expéditionnaire de Madagascar et fabriqués avec de l'aluminium de date relativement ancienne doit tenir en grande partie aux impuretés. Il cite ensuite des extraits de quelques rapports des chefs de corps de Madagascar qui tous s'accordent à considérer les ustensiles de campement en aluminium comme bien supérieurs, comme propreté et solidité, aux ustensiles en fer étamé. Puis il dit que des casseroles en aluminium employées depuis trois ans chez lui pour faire la cuisine sont dans un parfait état de conservation.

Dans sa réponse (*C. R.*, t. CXXVIII, p. 971-975), M. Ditte déclare que M. Moissan et lui diffèrent d'avis bien moins que la note précédente pourrait le donner à penser.

Il fait remarquer qu'il a tenu compte des impuretés de l'aluminium et qu'il leur attribue l'importance qu'il est légitime de leur accorder ; les essais rapportés dans les deux premières de ses notes ont d'ailleurs été faits sur de l'aluminium d'une grande pureté produit par l'usine de M. Secrétan en 1898.

Il se défend d'avoir dit que ses essais aient établi qu'il faille « d'emblée rejeter les applications possibles de l'aluminium (1) ». Il est convaincu au contraire que la substitution de l'aluminium au fer dans la fabrication des objets de campement constitue un grand progrès.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 567 : 1895.

RECHERCHES THÉORIQUES

Effet de la chaleur sur la décharge d'une bobine d'induction dont le circuit primaire est muni d'un interrupteur électrolytique, par **Jervis Smith**. *Philosophical Magazine*, 3e série, t. XLVIII, p. 477-478. Résumé par Bagard, dans le *Journal de Physique*, t. IX, p. 115, février 1900.

La distance des extrémités en pointe du secondaire étant réglée de façon qu'il n'y ait plus qu'une faible aigrette, si on vient à approcher de la cathode la flamme d'une lampe à alcool, on voit jaillir des étincelles entre les pointes ; on n'obtient aucun effet en approchant la flamme de la pointe anode, ou en employant des boules au lieu de pointes. L'auteur pense que l'effet est dû à la projection par la cathode de particules qui, étant chauffées par la flamme, augmentent la conductibilité de l'intervalle entre les pointes.

Sur la variation de la résistance de certains amalgames avec la température, par **R.-S. Willows**. *Philosophical Magazine*, 3e série, t. XLVIII, p. 433-456. Résumé par Bagard dans le *Journal de Physique*, t. IX, p. 114, février 1900.

Quand de l'amalgame de zinc est chauffé, puis refroidi lentement jusqu'à la température initiale, la résistance devient plus grande qu'auparavant ; si l'on répète la même opération plusieurs fois, la résistance subit chaque fois une augmentation de plus en plus faible, et elle finit par ne plus changer après six cycles environ ; elle est alors beaucoup plus élevée qu'avant d'avoir subi cette série d'échauffements. Enfin, l'amalgame ainsi traité étant ensuite maintenu pendant plusieurs semaines à la température du

(1) Cette réponse de M. Ditte n'était pas inutile. Sans doute, dans la rédaction de ses notes, la plume de M. Ditte a trahi sa pensée car, ainsi que M. Moissan, nous avions cru y voir la condamnation de l'emploi de l'aluminium pour la confection des ustensiles de cuisine et celle des coques de navires. (N. d. l. R.)

Digitized by Google

laboratoire, on trouve que sa résistance baisse graduellement ; il faut six semaines quelquefois pour atteindre une valeur définitive.

Le coefficient de dilatation éprouve des modifications analogues dans les mêmes conditions.

Les amalgames d'étain et de cadmium présentent dans un certain intervalle de température, une variation très rapide de la résistance avec la température ; il semble y avoir en même temps quelque changement d'état. La résistance de l'amalgame de cadmium devient plus grande après un échauffement, et plus grande encore après un refroidissement.

L'amalgame de magnésium a une résistance qui croît proportionnellement à la température jusqu'à 110° et un peu plus vite au delà. Pas plus que l'amalgame d'étain, il ne présente de particularité analogue à celles qui sont relatées plus haut pour les amalgames de zinc et de cadmium.

Sur la théorie de la tension de dissolution électrodynamique, par **R.-A. Lehfeldt**. *Philosophical Magazine*, 3e série, t. XLVIII, p. 430-433, novembre 1899. Résumé par Bagard dans le *Journal de Physique*, t. IX, p. 113, février 1900.

On sait que Nernst a adopté, pour représenter la force électromotrice au contact d'un métal et d'un électrolyte, l'expression :

$$E = \frac{RT}{\varepsilon} L \frac{\Pi}{P}, \qquad (1)$$

où R désigne la constante des gaz ; T la température ; ε la quantité d'électricité unie à un équivalent-gramme ; P la pression osmotique due aux ions métalliques en solution ; enfin, Π, une quantité que Nernst considère comme la « tension de dissolution électrolytique » du métal. D'après lui, il y a dissolution d'une petite quantité de métal au moment de l'immersion, quand la pression osmotique est moindre que cette tension hypothétique ; les nouveaux ions métalliques ainsi formés rendent la solution positive par rapport au métal, d'où une couche double à la surface de contact et une attraction de ces ions par le métal, laquelle, jointe à la tension osmotique, contrebalance, dans l'état d'équilibre, la tension de dissolution.

M. Lehfeldt fait diverses objections à cette hypothèse. Il fait remarquer d'abord que cette tension Π, calculée par Le Blanc d'après la force électromotrice observée et la relation (1) est, pour certains métaux, d'un ordre de grandeur inadmissible ; on obtient, en effet, pour le zinc $9,9 \times 10^{18}$ atmosphères et, pour le palladium, $1,5 \times 10^{-36}$ atmosphères. Il montre ensuite qu'en calculant la masse de zinc qui passerait en solution par centimètre carré, sous l'action d'une telle tension de dissolution, on arrive à un résultat qui est en désaccord manifeste avec la réalité.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 28 février 1900.

Sur l'interprétation de l'effet thermomagnétique dans la théorie de Voigt, par **G. Moreau**. *Comptes rendus*, t. CXXX, par 562.

L'auteur montre que l'interprétation qu'il donnait récemment (1) de l'effet thermomagnétique de Nernst diffère de celle que M. Voigt a publiée en 1898 (2) :

I. Je considère, dit-il, une chaîne formée par un métal M et du plomb, les soudures étant à des températures différentes. En un point (x, y, z) de M, si X, Y, Z sont les composantes de la force électromotrice thermo-électrique par unité de longueur, on a, d'après M. Voigt,

$$X = \theta' \frac{\partial T}{\partial x}, \quad Y = \theta' \frac{\partial T}{\partial y}, \quad Z = \theta' \frac{\partial T}{\partial z} \quad \text{ou} \quad \theta' = \frac{\partial \theta}{\partial T}, \qquad (1)$$

θ est une fonction de la température absolue T et caractérise le métal M.

On déduit facilement des équations (1), pour la force électromotrice du couple, le courant *allant du métal au plomb à travers la soudure*

(1) *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 154, 27 janvier 1900.

(2) M. Voigt a fait à ce sujet une réclamation de priorité signalée dans *L'Éclairage Électrique* du 24 février, p. 315, note 1.

Digitized by Google

chaude,

$$E_T^{T+dT} = [(\theta_M)_{T+dT} - (\theta_M)_T] - [(\theta_{Pb})_{T+dT} - (\theta_{Pb})_T],$$

d'où pour le pouvoir thermo-électrique de M, par rapport au plomb,

$$\varphi = \frac{\partial E}{\partial T} = \theta'_M - \theta'_{Pb}. \quad (2)$$

Par ailleurs, M. Voigt établit pour la chaleur spécifique σ_T du métal M (en mesures mécaniques)

$$\sigma_T = - M \frac{\partial^2 \theta_M}{\partial T^2}.$$

Cette formule appliquée au plomb où $\sigma_T = 0$, nous donne $\theta'_{Pb} =$ constante. En admettant que cette constante est nulle, la formule (2) donne

$$\varphi = \theta'_M. \quad (3)$$

II. Supposons qu'une lame mince du métal M soit placée dans un champ magnétique H, normalement aux lignes de force, le plan des XY coïncidant avec le plan de la lame qui sera traversée par un courant de chaleur allant dans la direction OY. Les équations (1) donnent

$$X = 0, \quad Y = \theta'_M \frac{\partial T}{\partial y}, \quad Z = 0.$$

M. Voigt suppose que la force électromotrice Y tourne sous l'action du champ comme la force électromotrice du courant primaire dans le phénomène de Hall. On obtient alors, suivant l'axe OX, une force électromotrice transversale X_1 qui, rapportée à l'unité de longueur, est

$$X_1 = - \frac{c}{\rho} \theta'_M \frac{\partial T}{\partial y} H, \quad \begin{cases} c, \text{ coefficient de Hall,} \\ \rho, \text{ résistivité du métal,} \end{cases}$$

ou, d'après l'équation (3),

$$X_1 = - \frac{c}{\rho} \varphi \frac{\partial T}{\partial y} H. \quad (4)$$

Cette formule (4) donne l'effet thermomagnétique d'après M. Voigt.

III. En admettant que, *seules*, les forces électromotrices thermo-électriques relatives à l'effet Thomson tournent sous l'action du champ, j'ai obtenu la formule

$$X_2 = KH \frac{\partial T}{\partial y},$$

où $K = \frac{\sigma c}{\rho}$, σ étant la chaleur spécifique d'électricité.

Or

$$\sigma = -T \frac{\partial \varphi}{\partial T};$$

donc

$$X_2 = - \frac{c}{\rho} T \frac{\partial \varphi}{\partial T} H \frac{\partial T}{\partial y},$$

Les formules (4) et (5) sont assez différentes pour que l'expérience nous permette de conclure en faveur de l'une ou de l'autre.

Dans le tableau suivant, j'ai comparé ces formules aux expériences de Nernst à 20°. Dans la cinquième colonne, j'ai reproduit les nombres de ma première note rappelée plus haut.

	c_{20} (Nernst).	φ_{20}.	$-\frac{c}{\rho}\varphi_{20}$ For. (4).	$K = \frac{\sigma c}{\rho}$ (For. 5).	K obs. (Nernst).
Bismuth.	— 10,1	+ 8800 ou + 6400	+ 0,337 ou + 0,246	+ 0,149	+ 0,196
Antimoine. . . .	+ 0,192	— 2240	+ 0,0097	+ 0,0090	+ 0,0094
Nickel.	— 0,024	+ 2280	+ 0,0039	+ 0,0026	+ 0,0073
Cobalt.	+ 0,0046	+ 2200	— 0,00094	— 0,00175	+ 0,00154
Fer.	+ 0,0113	— 1619	+ 0,0018	— 0,00156	— 0,00156
Acier	+ 0,0175	— 1731	+ 0,00114	— 0,00062	— 0,00060
Cuivre.	— 0,00052	— 152	— 0,000047	— 0,000084	— 0,000073
Zinc.	— 0,00041	— 279	— 0,000018	— 0,000046	— 0,000054

Dans la seconde et les trois dernières colonnes, le signe + indique que le phénomène a le sens de l'action du champ magnétique sur le courant primaire de Hall. Les valeurs du pouvoir thermo-électrique φ_{20} ont été déduites des observations de Mathiessen et Tait. Pour le bismuth, M. Voigt a pris 6400. Pour ce corps, la vérification me paraît illusoire, car tous les éléments qui interviennent varient avec le champ magnétique.

On peut ajouter au tableau précédent celui qui

Digitized by Google

résulte de mes propres recherches (1) au zéro centigrade. Pour les trois corps étudiés, j'ai déterminé, *sur le même échantillon,* les coefficients c, φ, σ, ρ et K (ces mesures sont indispensables pour une vérification rigoureuse des formules) et j'ai montré que l'équation (5) était exactement suivie.

	c_0.	φ_0.	$\frac{c}{\rho}\varphi_0$ (For. 4).	K observé.
Fer doux. .	+0,00837	—1062	+0,000636	—0,000646
Acier doux .	+0,00662	—1351	+0,000814	—0,000596
Cobalt. . .	+0,00399	+1318	—0,000512	—0,00146

Il me semble résulter des nombres précédents que la formule (5) suit mieux les résultats expérimentaux que celle de M. Voigt : pour le fer et l'acier, celle-ci donne même un phénomène de sens opposé à celui qui est observé. Néanmoins, je me suis demandé si les écarts disparaîtraient en admettant que Θ'_{Pb} n'est pas nul. En ajoutant à φ dans l'équation (4) une constante égale à Θ'_{Pb}, constante qu'on détermine de façon que la formule de M. Voigt suive exactement l'observation, on trouve des valeurs différentes en grandeur et en signe. Cette dernière hypothèse est donc inadmissible. Je crois alors pouvoir conclure que sous l'action du champ, *seules* les forces thermo-électriques relatives à l'effet Thomson, subissent l'effet Hall. Je tiens à ajouter que *ma note n'infirme en rien la théorie de M. Voigt en ce qui regarde les phénomènes thermo-électriques en dehors du champ.*

Remarque relative à une note récente de M. Th. Tomasina, sur la cristallisation métallique par transport électrique de certains métaux dans l'eau distillée; par **D. Tommasi**. *Comptes rendus*, p. 565.

« En publiant sa note insérée aux *Comptes rendus* de la séance du 5 février, M. Th. Tomasina (2) paraît ignorer que, dans une note présentée à l'Académie le 3 avril 1882, j'avais démontré que certains métaux peuvent fournir des dépôts cristallisés, s'ils sont employés comme anodes dans l'électrolyse de l'eau distillée. Qu'il me soit permis de rappeler ici, en quelques mots, les principaux faits que j'avais observés :

» 1° Dans un tube en U, rempli d'eau distillée, on plonge une anode en argent et une cathode en platine, reliées aux pôles d'une pile de six éléments de Bunsen. Après dix-huit heures, on retrouve toute la partie courbe du tube recouverte de cristaux constitués par un mélange d'oxyde d'argent et d'argent métallique.

» 2° Si, dans l'expérience précédente, on remplace l'anode en argent par une anode en cuivre, on obtient un très beau dépôt de cuivre cristallisé, adhérent aux parois du tube. On observe également un dépôt de cuivre sur la lame de platine servant de cathode (1). » .

Action des courants de haute fréquence et de haute tension sur la tuberculose pulmonaire chronique, par **E Doumer**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 682-685.

L'auteur indique les résultats qu'il a obtenus dans le traitement de dix-sept sujets par les courants de haute fréquence et de haute tension introduits dans les sciences médicales par M. d'Arsonval. Ces résultats sont fort satisfaisants ; en particulier, pour cinq des sujets, dont le traitement est terminé depuis deux ans au moins ; la guérison symptomatique s'est maintenue sans fléchir, malgré de graves maladies intercurrentes ; les lésions pulmonaires dont on avait constaté la disparition ou une atténuation équivalente à une guérison, sont restées dans le même état qu'au moment de la cessation du traitement.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 2 mars 1900.

Sur la loi élémentaire des actions électromagnétiques et de l'induction unipolaire, par **C. Raveau**.

I. — A l'aide de citations empruntées aux *Mémoires sur l'Électrodynamique*, publiés par M. Joubert, M. Raveau rectifie d'abord quelques idées courantes relatives à l'historique de la question.

1. Œrstedt, après avoir trouvé le moyen, depuis longtemps cherché, de faire agir l'électricité voltaïque sur l'aiguille aimantée, a parfaitement indiqué les lois qualitatives du phé-

(1) *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 315, 24 fév. 1900.

(2) *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 272, 17 fév. 1900.

(1) Voir pour plus de détail mon *Traité d'Électrochimie*, p. 490.

Digitized by Google

nomène ; il a observé que la nature du conducteur était indifférente et que l'action s'exerçait à travers tous les corps, métalliques ou non, même à l'intérieur d'une boîte de laiton remplie d'eau. Il a formulé la règle suivante pour les effets d'un fil horizontal placé au-dessus ou au-dessous de l'aiguille : « Le pôle qui voit entrer au-dessus de lui l'électricité négative, dévie vers l'ouest ; celui qui la voit entrer au-dessous, vers l'est. » (*Mém. El.*, I, p. 4.) Et plus loin : « Tous les effets observés relativement à un pôle nord, et que nous venons de décrire, s'expliquent facilement si l'on suppose que la force ou la matière électrique négative décrit une spirale de gauche à droite (*dextrorsum*) et agit sur le pôle nord sans agir sur le pôle sud. Les effets sur le pôle nord s'expliquent de la même manière, en admettant que la matière électrique positive possède un mouvement de sens contraire et la propriété d'agir sur le pôle sud sans agir sur le pôle nord. » Un peu plus tard, Œrstedt remarquait qu'un mouvement circulaire suffisait à expliquer les actions de l'électricité. M. Joubert observe à ce sujet que les idées d'Œrtedt se rapprochent beaucoup de celles de Faraday.

Ampère n'a pas cru faire autre chose, en donnant sa célèbre règle, qu'indiquer une expression simple des faits déjà établis ; après avoir exposé les propriétés distinctes de l'électricité sous ses deux états, il ajoute : « Telles sont les différences reconnues *avant moi* entre les effets, etc. » (*M. E.*, I, p. 14.)

2. Après les expériences de Biot et Savart sur l'action d'un fil rectiligne très long, Laplace montra que l'action sur un aimant pouvait être considérée comme la résultante d'une force élémentaire agissant en raison inverse du carré de la distance ; mais il ne détermina pas la fonction de l'angle que fait l'élément de courant avec la droite qui le joint au pôle. La formule complète $\frac{\sin V}{r^2}$ fut donnée par Biot dans son *Traité de Physique*. Il s'agissait, pour Biot, d'une force appliquée *au pôle*.

Une formule, identique seulement en apparence, fut donnée dans un Mémoire de F. Savary *sur l'application du calcul aux phénomènes électrodynamiques*, lu à l'Académie des sciences, le 3 février 1823. A cette époque, Ampère avait amené l'expression de l'action mutuelle de deux éléments de courant à la forme encore incomplète

$$-ii'\frac{r^{1-k-n}}{1+k}\cdot\frac{d^2r^{1+k}}{ds\,ds'}\,ds\,ds'$$

dans laquelle figurent encore deux coefficients reliés par la seule équation $n-1+2k=0$; il avait démontré seulement que n était plus grand que 1 (*M. E.*, I, p. 289). Il ajoutait : « Quelle que soit la force des analogies qui portent à penser que n est égal à 2, on n'en a aucune preuve déduite directement de l'expérience, puisque toutes les expériences faites à ce sujet l'ont été en faisant agir un conducteur voltaïque sur un aimant et ne s'appliquent, par conséquent, que par une extension, qu'on ne peut regarder comme une démonstration complète, à l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courants électriques. » (*Op. cit.*, p. 286.)

Gay-Lussac et Welter avaient montré qu'un anneau d'acier entouré d'une hélice conductrice n'exerce pas d'action extérieure ; Ampère répéta l'expérience avec un « assemblage de courants circulaires » sans noyaux, et Savary prouva qu'on pouvait en déduire une nouvelle relation qui déterminait n et k. Il calcula alors l'action d'un cylindre électrodynamique (solénoïde rectiligne) sur un élément de courant, et trouva, dans le cas où l'une des extrémités de ce cylindre est à l'infini, une force *appliquée à l'élément dz* et dont la valeur est $\frac{\sin V\,dz}{r^2}$ (I, p. 354).

3. Ampère a insisté à plusieurs reprises sur la différence entre la formule de Savary et celle de Biot, qui ne représente pas une force égale et opposée à celle qui s'exerce sur l'élément de courant. Il a reconnu toutefois que ces deux formules étaient équivalentes dans le cas d'un circuit fermé ; mais il était tellement convaincu de la nécessité de l'égalité de l'action et de la réaction, même dans le cas des forces élémentaires, qu'il a cru trouver une démonstration expérimentale de cette égalité. Dans l'expérience de rotation électromagnétique de Faraday, dans laquelle un aimant flottant verticalement sur du mercure tourne autour d'un fil, également vertical, parcouru par un courant, Ampère remarque que, s'il y a égalité entre l'action et la réaction, le système formé par l'aimant et les portions de courant qui le traversent, ne peut

Digitized by Google

tendre à prendre aucun mouvement par lui-même ou, en d'autres termes, le mouvement est produit par le reste du courant ; or, l'expérience réussit également si on vernit l'aimant de façon à empêcher le courant de le traverser. Ampère en conclut que l'action est bien égale à la réaction dans le premier cas ; M. Raveau observe que cette conclusion ne serait admissible que si la seule différence entre les deux expériences était la suppression des *parties* du courant contenues à l'intérieur de l'aimant, tandis qu'au contraire on a simplement remplacé des courants fermés par d'autres courants fermés, pour lesquels, d'après les démonstrations d'Ampère lui-même, la loi élémentaire reste indéterminée.

II. — Après avoir dit quelques mots d'un mémoire de M. Lecher [1] où il relève une incorrection analogue à celle qui a échappé à Ampère, M. Raveau reproduit, au sujet du fond même de la question de l'entraînement des lignes de force dans le mouvement d'un aimant autour de son axe de révolution, les objections de principe qu'il a déjà formulées dans l'article précité et ajoute quelques remarques :

1. On a montré à plusieurs reprises qu'il y a équivalence entre les deux théories qui considèrent le champ comme immobile ou comme entraîné toutes les fois qu'on mesure les forces électromotrices *en circuit fermé*. En principe cette équivalence semble pouvoir se déduire, dans tous les cas, de l'application de la théorie générale de l'induction : les forces électromotrices se calculent en admettant que leur travail est équivalent à celui des forces électromagnétiques qui accompagne le mouvement relatif d'un aimant et d'un courant. Or ces forces électromagnétiques ne dépendent, à chaque instant, que de la valeur du champ et du courant en chaque point ; toute modification qui ne change pas la valeur du champ n'a donc aucune influence.

2. Edlund, qui a combattu avec ténacité les vues généralement admises a reconnu la possibilité d'expliquer le phénomène dans ces idées, mais il a formulé une objection de principe prétendant que la base même des théories autres que la sienne, était dépourvue de solidité. M. Raveau montre l'erreur manifeste dans laquelle est tombé Edlund, par la lecture de ce passage [1] relatif au courant produit par la rotation d'un aimant dans un appareil qu'il est inutile de décrire : « Il est possible... que le courant induit apporte un léger obstacle à la rotation, quoique cet obstacle soit trop insignifiant pour être appréciable. L'ancienne théorie admet, par conséquent, que la naissance du courant induit s'opère sans consommation sensible de force mécanique, ce qui ne peut pas être correct. » Edlund commence donc par négliger le travail dont il reproche l'absence à la théorie ordinaire.

3. Une question plus délicate est la suivante : le champ magnétique d'un aimant qui tourne sur lui-même est-il exactement le même que si l'aimant est immobile? En d'autres termes un observateur immobile en face d'un aimant de révolution tournant autour de son axe a-t-il un moyen quelconque de reconnaître le mouvement sans faire d'expériences sur un circuit fermé ? La théorie de Maxwell fait pressentir la réponse à cette question : chacun des filets magnétiques qui tournent crée, par son mouvement, un champ *électrique* ; outre l'existence de ce champ, il doit produire, par réaction, une modification dans les lignes de force magnétiques ; il y aurait donc un double effet manifestant le mouvement de l'aimant.

M. P. Curie expose en son nom et en celui de **M^me^ Curie** les résultats de ses recherches ***sur les rayons du polonium et du radium.***

M. P. Curie revient d'abord sur la question du spectre du radium. Il rappelle que M. Demarçay, qui a étudié ce spectre, possède une précieuse collection de photographies des spectres d'émission de tous les éléments, s'étendant à partir du vert jusque dans l'ultra-violet et dont la raie H occupe à peu près le milieu. Les étincelles sont produites par une bobine spéciale, à très gros fil inducteur, dont la décharge ne présente pas sensiblement les raies nuisibles de l'air ; c'est par comparaison successive avec tous

[1] Voir sur ce point, un article de M. Raveau dans *L'Éclairage Électrique* du 3 février.

[1] Edlaud, Théorie de l'induction unipolaire. (*Ann. de Chimie et de Physique*), 6^e^ série, t. XI, p. 159, 1887.

Digitized by Google

les spectres déjà obtenus qu'a été reconnue l'existence d'une raie caractéristique, voisine de H, puis de plusieurs autres raies.

M. P. Curie a étudié récemment l'action de la température de l'air liquide sur le chlorure de baryum radifère. Ce corps ne cesse pas d'être lumineux ; il est difficile d'observer avec précision l'éclat de la partie immergée, mais on constate toujours qu'au moment où on la retire, elle est beaucoup plus brillante que le reste, soit par suite de l'abaissement de température, soit à cause du réchauffement qu'elle subit, ce qui semble moins probable.

Le chlorure de baryum radio-actif provoque la luminosité du sulfate d'uranyle et de potasse.

La suite de la communication comprend l'exposé des belles recherches, déjà connues de nos lecteurs (1), sur les rayons déviables par un champ magnétique qui sont très pénétrants et dont la puissance de pénétration augmente à mesure qu'ils sont filtrés par des corps absorbants et les rayons non déviables dont l'existence ne se manifeste qu'à une distance inférieure à 4 cm pour le polonium et à 7 cm pour le radium.

La distinction absolue entre ces deux espèces de rayons résulte de deux faits : 1° Quand on a produit la déviation au moyen d'un champ de 2700 unités, on ne sépare plus rien en faisant croître le champ jusqu'à 7 000 ; 2° Dans les expériences de M. H. Becquerel, les rayons les moins déviés sont de beaucoup les plus pénétrants, tandis que les rayons non déviés de M. Curie sont très fortement absorbés ; il n'y a donc pas continuité.

MM. Meyer et V. Schweidler ont étudié l'action de lamelles de verre, d'épaisseur de 1 mm, sur les rayons déviables ; la première, qui absorbe tous les rayons non déviables, ne laisse passer que 26 p. 100 de la radiation totale ; la seconde laisse passer 86 p. 100 du reste, la cinquième 97 p. 100 et le huitième 98,7 p. 100 de ce qu'elles reçoivent.

Si l'on opère, hors du champ magnétique, sur les rayons non déviables du polonium on trouve au contraire qu'une première lame laisse passer 45 p. 100 de la radiation et une seconde 11 p. 100 seulement.

Enfin M. P. Curie fait connaître une expérience nouvelle : ***Les rayons du radium transportent de l'électricité négative.***

Si l'on cherche à répéter avec le radium l'expérience qu'a faite M. Perrin sur les rayons cathodiques on se trouve arrêté parce que le faisceau qui tombe à l'intérieur du cylindre de Faraday établit une communication conductrice qui rend l'isolement extrêmement défectueux ; toutefois ces premiers essais ont permis d'établir que le flux électrique du radium, s'il existe, est très faible en comparaison de ce que transportent les rayons cathodiques.

On tourne la difficulté au moyen d'un artifice, indiqué par Lénard, dans une expérience analogue, qui consiste à empêcher la déperdition de l'électricité dans l'air en recouvrant les parties métalliques de l'appareil d'un isolant. L'expérience a été faite d'abord avec des blocs de plomb, de zinc ou de cuivre protégés, ainsi que les fils qui se rendaient à l'électromètre, par de la paraffine ou de l'ébonite (0,3 mm d'épaisseur) ; l'isolant était lui-même recouvert d'une enveloppe de plomb. Sur la face du bloc récepteur exposée la couche isolante était extrêmement mince et portait simplement une feuille d'aluminium de 0,01 mm. Une couche de radium très actif de 2 mm d'épaisseur sur 3 cm² de surface donnait un courant 10^{-11} ampères ce qui correspondrait à une perte de matière d'un équivalent-milligramme en un million d'années. Il est absolument nécessaire d'éviter la présence de toute bulle d'air, à l'intérieur de laquelle des courants se produiraient sous l'influence des forces électromotrices de contact entre les divers métaux. On retrouve à peu près les mêmes nombres avec un cylindre de Faraday isolé ; ici, les rayons secondaires ne peuvent pas s'échapper, sauf ceux de l'isolant. Enfin on peut faire l'expérience inverse en reliant à l'électromètre le radium contenu dans une boîte métallique fermée et isolée, sauf d'un seul côté, où la radiation sort dans l'air ou entre sur une masse métallique reliée au sol ; le radium se charge positivement.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 20 janvier.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 17 Mars 1900. 7e Année. — N° 11

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

SUR LA CONDUITE DES ALTERNATEURS

COUPLÉS EN PARALLÈLE AUX BORNES D'UN RÉSEAU A POTENTIEL CONSTANT

La méthode graphique de M. Guilbert (voir *L'Éclairage Électrique*, du 2 septembre 1899), permet de mettre très simplement et très clairement en évidence les conditions de fonctionnement des alternateurs au couplage, et d'en déduire un ensemble de données utiles à connaître pour la conduite de la marche en parallèle. Nous nous proposons aujourd'hui de montrer comment doit être, au cours de la marche, effectué le réglage des alternateurs en vue de réaliser la condition d'utilisation et de rendement maxima.

Rappelons brièvement le principe de la méthode. Connaissant la différence de potentiel V maintenue constante aux bornes du circuit d'utilisation, et les constantes R et L de ce circuit, si l'on trace (fig. 1) le vecteur OB = V, la direction OC définie par l'angle φ tel que :

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L}{R}$$

et que l'on abaisse du point B la perpendiculaire BC sur OC, on aura :

$$OC = RI, \qquad BC = \omega LI,$$

I désignant l'intensité du courant dans le circuit, tel qu'on la déduit de la relation :

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}.$$

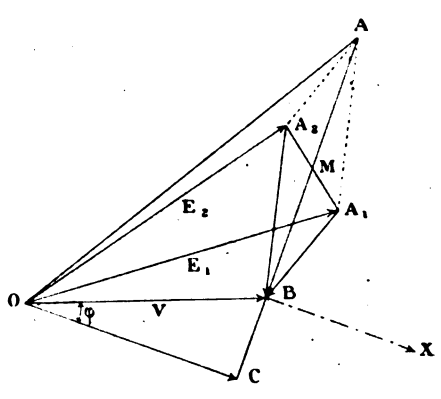


Fig. 1.

1. Dans le cas où l'intensité totale I est fournie par un seul alternateur, sa force électro-

Digitized by Google

motrice induite aura pour vecteur la ligne de fermeture OA du triangle ayant pour autres côtés OB = V, et AB mesurant la chute de tension dans l'induit. Soit l le coefficient de *s. i.* de l'induit : si l'on néglige, devant la valeur de la force électromotrice ωl I, celle de la perte de charge ohmique, on aura simplement :

$$AB = \omega l I.$$

la ligne BA se trouvant dès lors être le prolongement de CB.

A l'échelle ωl fois plus grande que celle des forces électromotrices, la longueur AB mesurera l'intensité I, dont le calage sera suivant BX perpendiculaire à AB.

2. Si deux alternateurs, supposés identiques, concourent à la production du courant total, les intensités I_1 et I_2 débitées par chacun d'eux devront, quelles que soient leurs valeurs numériques, être les composantes de l'intensité I. Il en résulte que ces intensités seront mesurées par les longueurs $A_1 B$ et $A_2 B$ des côtés d'un parallélogramme ayant AB pour grande diagonale : les calages effectifs des courants étant d'ailleurs à 90° des directions $A_1 B$ et $A_2 B$.

Connaissant la force électromotrice induite $E_1 = OA_1$ de l'un des alternateurs, et l'intensité $I_1 = \frac{A_1 B}{\omega l}$ qu'il débite, on en déduira donc les facteurs E_2 et I_2 relatifs au fonctionnement du second alternateur en prenant le point A_2 symétrique de A_1 par rapport au milieu M de AB, et en menant les vecteurs OA_2 et $A_2 B$.

Puissances. — La différence de potentiel V étant constante, les puissances actuelles W_1 et W_2 développées par chaque alternateur seront, à une échelle convenable, mesurées par les projections PP_1 et PP_2 (fig. 2) de A_1B et A_2B sur la perpendiculaire à OB.

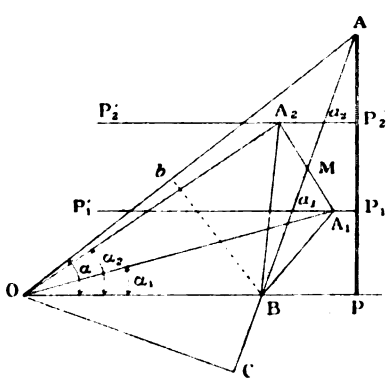


Fig. 2.

Ces puissances sont, aux actions parasites près, celles que fournissent les moteurs correspondants; il en résulte que, tant que les puissances motrices développées par ceux-ci demeureront constantes, les lieux géométriques des points A_1 et A_2 seront les droites $P_1P'_1$, $P_2P'_2$ parallèles à OB.

Il importe ici de rappeler le point fondamental qui différencie les conditions de fonctionnement des alternateurs en parallèle de celles des dynamos à courant continu. Dans ce dernier cas, les vitesses de rotation des moteurs restant libres de varier individuellement, la position de chaque régulateur, et par suite la puissance motrice correspondante, peuvent varier en fonction du taux d'excitation des inducteurs : de telle sorte que l'électricien du tableau peut, par une simple manœuvre des rhéostats de champ, répartir à son gré la charge totale entre les diverses unités en parallèle.

Il n'en est plus ainsi lorsqu'on opère sur des alternateurs. Dans ce cas, l'état de vitesse de chaque unité lui étant rigoureusement imposé par sa liaison avec l'ensemble des autres, demeure de ce fait indépendante des variations que l'on peut faire subir à son excitation, tant que le synchronisme subsiste et que la différence de potentiel aux bornes du réseau reste constante.

Il en résulte que les régulateurs automatiques de puissance basés sur l'effet d'une variation de vitesse seront impuissants à exercer des actions individuelles susceptibles de faire varier la puissance de chaque unité en fonction de son excitation : tous les régulateurs demeurant calés à une position fixe, tant que la charge totale imposée à l'ensemble des unités en parallèle par le nombre et la puissance des récepteurs en fonction ne varie pas.

Digitized by Google

Cela étant, le diagramme montre que si l'on modifie les excitations de deux alternateurs, et par suite les valeurs E_1 et E_2 de leurs forces électromotrices induites, de manière à laisser V constant, les extrémités A_1 et A_2 des vecteurs relatifs à ces forces électromotrices seront assujetties à se déplacer le long des droites d'égale puissance $P_1P'_1$, $P_2P'_2$.

On en déduit immédiatement cette conséquence intéressante au point de vue pratique : c'est qu'il sera impossible d'amener, par la seule manœuvre du rhéostat d'excitation, le débit apparent de l'un des alternateurs à zéro. La plus faible valeur que puisse en effet prendre l'intensité I_1, par exemple, sera celle pour laquelle le vecteur A_1B sera perpendiculaire sur $P_1P'_1$; dans le cas où les puissances W_1 et W_2 sont égales, on aura par suite (fig. 3)

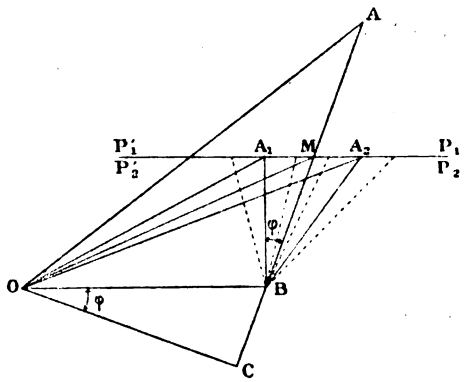


Fig. 3.

$$I_{1\,min.} = BM \cos\varphi = \frac{I}{2}\cos\varphi.$$

Si donc on diminue l'excitation sur l'un des alternateurs en l'augmentant sur l'autre de manière à maintenir V constant, l'intensité indiquée par son ampèremètre ira en décroissant jusqu'au minimum ci-dessus, et augmentera ensuite constamment, tant que le synchronisme subsistera.

Par exemple, pour un débit total sur la ligne I = 200 ampères également réparti à l'origine sur les deux alternateurs, et cos φ = 0,80, on ne pourra de la sorte faire baisser le débit sur l'un d'eux que jusqu'à la valeur minima 80 ampères : soit de 20 ampères seulement.

Ceci montre que l'action des rhéostats de champ sera, dans le cas actuel, beaucoup plus limitée que lorsqu'il s'agit de dynamos à courant continu; nous allons maintenant préciser le rôle de cet organe.

Action des rhéostats de champ. — Les diagrammes précédents montrent que la manœuvre des rhéostats de champ au cours de la marche en parallèle sur un réseau de constantes R et L données aura pour effet :

1° De modifier l'angle de calage des forces électromotrices induites par rapport à la différence de potentiel V aux bornes du réseau, et par suite la phase relative des deux alternateurs. On voit à simple examen du diagramme qu'en augmentant l'excitation de l'un des alternateurs, c'est-à-dire la longueur du vecteur OA_1 de sa force électromotrice, on diminuera l'angle α_1 et inversement.

2° De modifier les conditions de débit propres à chaque alternateur, c'est-à-dire la charge apparente indiquée par son ampèremètre : la charge réelle, c'est-à-dire la puissance effectivement développée par lui, *demeurant indépendante de son excitation*. On voit en effet que les valeurs

$$I_1 = \frac{1}{\omega l} A_1B, \qquad I_2 = \frac{1}{\omega l} A_2B,$$

des intensités dans chaque induit sont déterminées par les positions des points A_1 et A_2 sur chacune des lignes $P_1P'_1$, $P_2P'_2$ et par suite par les valeurs des excitations respectives déterminant les longueurs OA_1 et OA_2.

Considérons d'abord le cas où les puissances motrices se trouvent être inégales, pour une même vitesse angulaire donnée.

Digitized by Google

La somme $I_1 + I_2$ des intensités débitées par chaque alternateur a pour valeur minima celle I de l'intensité passant au réseau ; pour tout décalage entre I_1 et I_2, on aurait :

$$I_1 + I_2 > I$$

et le réglage de la marche devra par suite être conduit de manière à faire coïncider en phase les courants débités par les deux alternateurs. Le diagramme (fig. 2) montre que cette condition sera réalisée si les excitations ont des valeurs telles que les points A_1 et A_2 se trouvent en a_1 et a_2 sur la ligne AB : les courants étant dès lors figurés, en grandeur par les longueurs a_1B et a_2B, et, en calage commun, par la perpendiculaire à AB. Dans ces conditions, l'échauffement total des deux induits aura la plus petite valeur compatible avec celle de l'intensité dans le réseau ; l'utilisation et le rendement seront donc maxima pour les conditions de puissance données.

Pratiquement, pour déterminer dans quels sens les deux rhéostats devront être manœuvrés en vue d'obtenir ce résultat, on amènera tout d'abord les excitations à être égales si elles ne l'étaient déjà.

La machine la plus décalée en avant, et par suite celle sur laquelle agit le couple mécanique le plus puissant, sera celle dont l'ampèremètre annonce la plus grande intensité : car, dans les triangles BOA_1, BOA_2 (fig. 2), les côtés OA_1 et OA_2 étant dès lors égaux, au plus grand angle α_2 sera opposé le plus grand côté A_2B.

Cela étant, pour satisfaire à la condition $Oa_2 > Oa_1$ qui, sur le diagramme, correspond à $W_2 > W_1$, il faudra donc *augmenter* l'excitation sur la machine qui, à excitations égales, débitait *le plus*, et par suite la diminuer sur l'autre, jusqu'à ce que la somme $I_1 + I_2$ ait acquis la plus petite valeur possible.

Supposons maintenant que les puissances motrices soient rigoureusement égales. Les lignes $P_1P'_1$ et $P_2P'_2$ coïncident alors, et passent par le point M milieu de AB. Dans ces conditions, on voit qu'à des excitations égales — lesquelles attribueront dès lors aux forces électromotrices induites E_1 et E_2 le même vecteur OM — correspondront des intensités I_1 et I_2 ayant pour valeur commune $MB = \frac{I}{2}$. Les forces électromotrices induites coïncideront en phase, ainsi que les courants débités par les deux alternateurs.

Le réglage, au début et au cours de la marche, doit tendre à établir et à maintenir cet état de choses, basé sur l'égalisation des puissances motrices. C'est en effet le seul qui permette de réaliser l'utilisation complète des deux unités génératrices puisqu'il partage également entre elles l'intensité totale en la réduisant à sa valeur minima, égale à celle de l'intensité débitée sur le réseau.

La réalisation exige que l'on puisse faire varier, pour un état de vitesse donné et invariable, la puissance individuellement développée par chaque machine motrice. Quelle que soit en effet l'identité de construction de ces machines, il arrivera le plus souvent que, à vitesse angulaire égale, leurs régulateurs respectifs ne détermineront pas exactement le même degré d'admission ; en outre, l'importance inégale des fuites de vapeur, soit dans les distributions, soit aux pourtours des pistons, pourront modifier, après quelque temps de fonctionnement, leurs conditions de travail individuel.

Il y aura donc lieu de rétablir l'égalité des puissances par un réglage indépendant des conditions de vitesse. A défaut d'un organe spécialement établi dans ce but, *et dont devraient être munies toutes les machines destinées à actionner des alternateurs*, on pourra utiliser la valve d'admission, en étranglant partiellement la vapeur sur la machine qui développe le plus grand couple,

Digitized by Google

Cette machine sera, pour les mêmes raisons que précédemment, celle qui, à excitations égales, fournira la plus grande intensité de courant.

On commencera donc par égaliser les excitations sur les deux alternateurs, et, si les intensités indiquées par leurs ampèremètres sont alors différentes, on réduira la puissance motrice sur la machine qui débite le plus, jusqu'à amener les intensités à être égales.

3. La marche à suivre est la même, quel que soit le nombre des alternateurs au couplage, ceux-ci étant toujours supposés identiques. Suivant qu'il y aura 3, 4, 5... alternateurs en parallèle, le point M se trouvera au 1/3, au 1/4, au 1/5 ... de la longueur BA, et la condition pour que les intensités soient égales et en coïncidence de phase sera évidemment toujours que les forces électromotrices induites aient OM pour vecteur commun.

En même temps se trouvera réalisée la condition de stabilité maxima pour l'ensemble des alternateurs, ceux-ci fonctionnant dès lors sans décalage relatif (1).

G. CHEVRIER.

REPRÉSENTATION DES FONCTIONS PÉRIODIQUES COMPLEXES

A L'AIDE DES IMAGINAIRES (2)

L'emploi de la méthode de calcul de M. Steinmetz basée sur la représentation des vecteurs à l'aide d'expressions imaginaires, comme celui des méthodes graphiques, suppose que les fonctions périodiques que l'on considère sont sinusoïnales, ou tout au moins qu'on peut les remplacer par des sinusoïdes équivalentes, c'est-à-dire de même valeur efficace.

Cette hypothèse suffisamment exacte dans beaucoup de cas de la pratique ordinaire des courants alternatifs est complètement insuffisante dans d'autres cas où les phénomènes qu'on observe sont dus uniquement à la présence des harmoniques. Tels sont les cas de circuits contenant de la capacité à des endroits déterminés ou uniformément répartie, de circuits contenant des résistances en des self-inductions variant périodiquement comme par exemple des arcs ou des moteurs synchrones ou encore des appareils à circuits magnétiques très saturés. A ce dernier cas appartient en particulier la réaction d'induit des alternateurs.

M. Steinmetz dans un mémoire dont nous avons parlé tout récemment se propose de généraliser sa méthode basée sur l'emploi des expressions imaginaires. Le point de départ de cette généralisation réside dans une remarque très connue d'ailleurs et mise en lumière déjà par beaucoup d'auteurs.

Cette remarque est que lorsqu'une tension alternative non sinusoïdale agit sur un circuit de nature quelconque, contenant des résistances des self-inductions et des capacités, chaque harmonique agit pour son propre compte sur le dit circuit, non seulement au point de vue du courant et des forces électromotrices dues à la self-induction et à la capacité, mais aussi

---

(1) Pour plus de détails, voir le chapitre IV de la *Pratique industrielle des courants alternatifs* (*courants monophasés*), par G. CHEVRIER, que vient de publier la librairie G. Carré et C. Naud.

(2) En indiquant une règle mnémonique pour déterminer facilement l'expression de la puissance, nous ne nous étions nullement souvenu qu'elle avait été signalée antérieurement par M. Janet. M. Janet a en effet déjà montré (*Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 529), que la puissance vraie d'un courant alternatif s'obtient en recherchant le terme réel du produit des expressions imaginaires de la tension et du courant après avoir changé le signe de $\sqrt{-1}$ dans l'une d'elles.

Nous espérons que l'auteur de cette règle ne tiendra pas rigueur de notre oubli. C.-F. G.

Digitized by Google

au point de vue des puissances. Autrement dit, tout se passe comme si chaque harmonique agissait sur un circuit identique à celui considéré, tous les circuits étant séparés.

Chaque harmonique étant une sinusoïde et agissant indépendamment des autres, on peut donc la représenter par une expression complexe identique à celle employée jusqu'ici par M. Steinmetz pour les fonctions périodiques simples, la fonction périodique non harmonique pourra alors être représentée par la somme algébrique de toutes ces fonctions harmoniques indépendantes.

Toutefois comme les différentes harmoniques ont des fréquences différentes, les termes sous le symbole $\sqrt{-1}$ ne pourront s'ajouter algébriquement entre eux; cette restriction pourra facilement être rendue visible dans les équations en affectant le symbole de l'imaginaire d'un indice correspondant à l'ordre de l'harmonique.

En somme nous écrirons une fonction non-harmonique sous la forme :

$$\begin{aligned} A &= (a'_1 + \sqrt{-1_1}\, a''_1) + (a'_2 + \sqrt{-1_2}\, a''_2) + \dots \\ &= \sum_1^{\infty} (a'_n + \sqrt{-1_n}\, a''_n). \end{aligned} \tag{1}$$

Lorsqu'une différence de potentiel est maintenue aux bornes d'un circuit, la résistance apparente ou l'impédance de ce circuit n'est pas la même pour toutes les harmoniques, la réactance du circuit suivant sa nature peut être ou proportionnelle à la fréquence, comme l'inductance, ou inversement proportionnelle à la fréquence comme c'est le cas pour une capacité, ou enfin indépendante de la fréquence, ainsi que cela se passe pour l'induction mutuelle, le mouvement synchrone, etc.

Si donc l'impédance écrite sous sa forme complexe a pour expression

$$R_1 = r + \sqrt{-1}(s + s' + s''), \tag{2}$$

s étant la partie de la réactance proportionnelle à la fréquence,
s' — la partie de la réactance indépendante de la fréquence,
s'' — la partie de la réactance inversement proportionnelle à la fréquence; l'impédance correspondant à la $n^{ième}$ harmonique sera

$$R_n = r + \sqrt{-1_n}\left(ns + s' + \frac{s''}{n}\right). \tag{3}$$

Connaissant l'expression de la tension mise aux bornes d'un circuit dans l'impédance, pour une harmonique, d'ordre n est R_n,

$$\overline{E} = \Sigma(e'_n + \sqrt{-1_n}\, e''_n); \tag{4}$$

celle du courant sera évidemment

$$\overline{I} = \Sigma(i'_n + \sqrt{-1_n}\, i''_n) = \sum \frac{e'_n + \sqrt{-1_n}\, e''_n}{r + \sqrt{-1_n}\left(ns + s' + \frac{s''}{n}\right)}. \tag{5}$$

Les symboles de multiplication et de division de E, I et R ne représentent aucune opération algébrique mais les opérations correspondantes sur les termes de mêmes indices de chacune de ces trois quantités. Plus explicitement l'égalité (5) signifie que l'on a, quelque soit n

$$i'_n + \sqrt{-1_n}\, i''_n = \frac{e'_n + \sqrt{-1_n}\, e''_n}{r + \sqrt{-1_n}\left(ns + s' + \frac{s''}{n}\right)}. \tag{6}$$

Digitized by Google

De même les opérations indiquées par les symboles

$$\overline{E} = \overline{I}\,R \qquad R = \frac{\overline{E}}{\overline{I}}.$$

reviennent aux égalités

$$e'_n + \sqrt{-1_n}\, e''_n = (i'_1 + \sqrt{-1_n}\, i''_n)\left[r + \sqrt{-1_n}\left(ns + s' + \frac{s''}{n}\right)\right] \tag{7}$$

$$r + \sqrt{-1_n}\left(ns + s' + \frac{s''}{n}\right) = \frac{e'_n + \sqrt{-1_n}\, e''_n}{i'_1 + \sqrt{-1_n}\, i''_n}. \tag{8}$$

La valeur efficace d'une quantité périodique

$$a = \Sigma\,(A_n \sin nx + B_n \cos nx)$$

est comme on le sait

$$A = \sqrt{\frac{\Sigma\,(A_n^2 + B_n^2)}{2}}$$

On en conclut immédiatement que la la valeur efficace ou le module de l'expression symbolique

$$A = \sum \frac{a'_n + \sqrt{-1_n}\, a''_n}{b'_n + \sqrt{-1_n}\, b''_n} \quad \text{est} \quad A = \sqrt{\sum \frac{a'^2_n + a''^2_n}{b'^2_n + b''^2_n}} \tag{9) et (10}$$

expression qui permet de calculer facilement les valeurs efficaces des expressions symboliques mises sous la forme (5).

En particulier les valeurs efficaces de E etde I sont

$$E = \sqrt{\Sigma(e'^2_n + e''^2_n)}, \qquad I = \sqrt{\Sigma\,(i'^2_n + i''^2_n)}. \tag{11) et (12}$$

Les considérations que nous avons exposées récemment sur la représentation à l'aide d'imaginaires des puissances apparentes et des couples sont aussi applicables ici à chaque terme, on a donc en général

$$\overline{P} = P_1 + \sqrt{-1}\, P_{\sqrt{-1}} = [\overline{E}\,\overline{I}] = [\overline{E}\,\overline{I}]_1 + \sqrt{-1}\,[\overline{E}\,\overline{I}]_{\sqrt{-1}} = \Sigma\,(e'_n\, i'_n + e''_n i''_n) + \Sigma\sqrt{-1_n}\,(e''_n i'_n - e'_n i''_n) \tag{13}$$

Les puissances déwattées entrant dans l'expression de $P_{\sqrt{-1}}$ et correspondant aux diverses harmoniques ne peuvent pas être additionnées algébriquement entre elles, la présence du symbole $\sqrt{-1_n}$ met cette impossibilité en évidence, aussi tandis que la puissance vraie totale d'un courant alternatif de forme périodique non sinusoïdale est la somme algébrique des puissances vraies produites ou absorbées par les harmoniques, la puissance déwattée totale n'est pas la somme algébrique des puissances déwattées correspondant à chacune de ces harmoniques, mais bien la somme des valeurs absolues de ces puissances déwattées.

Aucune distinction ne peut d'ailleurs être faite entre le retard et l'avance de la puissance déwattée dans un circuit traversé par un courant alternatif non sinusoïdal puisque quelques harmoniques peuvent être en avance et d'autres en retard.

La puissance apparente ou les volts-ampères totaux sont:

$$Q = EI = \sqrt{\Sigma(e'^2_n + e''^2_n) + \Sigma(i'^2_n + i''^2_n)}; \tag{14}$$

Digitized by Google

le facteur de puissance a donc pour expression

$$p = \frac{P_1}{Q} = \frac{\Sigma(e'_n i'_n + e''_n i''_n)}{\sqrt{\Sigma(e'^2_n + e''^2_n)\,\Sigma(i'^2_n + i''^2_n)}} \tag{15}$$

Le facteur d'inductance n'a plus aucune signification ici puisque les diverses puissances déwattées ne sont pas comparables ; la quantité

$$q_0 = \sqrt{1 - p^2} \tag{16}$$

n'a aucune signification physique, ce n'est nullement le rapport de la puissance déwattée totale à la puissance apparente.

Le terme $\frac{P\sqrt{-1}}{EI}$ a pour valeur

$$Q = \frac{P\sqrt{-1}}{EI} = \frac{\Sigma(e''_n i' - e'_n i''_n)}{EI} = \Sigma q_n \tag{17}$$

q_n étant le facteur d'inductance de la n^e harmonique.

En général on a :

$$p^2 + q^2 < 1$$

et q par suite diffère de q_0.

L'expression complexe

$$\overline{U} = \frac{\overline{P}}{Q} = \frac{[\overline{E}\,\overline{I}]}{EI} = \frac{[\overline{E}\,\overline{I}]_1 + \sqrt{-1}\,[\overline{E}\,\overline{I}]_{\sqrt{-1}}}{EI} \tag{18}$$

a pour valeur :

$$U = \frac{\Sigma(e'_n i'_n + e''_n i''_n) + \Sigma\sqrt{-1_n}\,(e''_n i'_n - e'_n i''_n)}{\sqrt{\Sigma(e'^2_n + e''^2_n)\Sigma(i'^2_n + i''^2_n)}} = p + \Sigma\sqrt{-1_n}\,q_n, \tag{19}$$

et peut être appelée le facteur de circuit ; il comprend un terme réel, le facteur de puissance et une série de termes imaginaires qui sont les facteurs d'inductance des différentes harmoniques.

La valeur absolue du facteur de circuit est

$$u = \sqrt{p^2 + (\Sigma q_n)^2}$$

et est plus petite que 1 comme nous l'avons déjà dit plus haut.

Pour montrer la commodité des calculs avec cette méthode, M. Steinmetz donne quelques exemples simples d'applications judicieusement choisis que nous allons reproduire rapidement.

Le premier se rapporte au cas d'une tension de 1 000 volts agissant sur un circuit contenant une résistance, une self-induction et une capacité en série.

La différence de potentiel agissante a pour expression :

$$e = 1372\cos(x + 37^\circ) + 566\cos(3x + 45^\circ) - 244\cos(5x - 53^\circ).$$

On a en outre

$$r = 10\,\omega,\quad s = \frac{2\pi L}{T} = 10\,\omega,\quad c = \frac{1}{\frac{2\pi}{T}C} = 90\,\omega,$$

Digitized by Google

L et C étant la self-induction et la capacité en série avec la résistance r et $\frac{1}{T}$ la fréquence de la tension d'alimentation.

Pour trouver les valeurs de e' et e'' il suffit évidemment de faire d'abord $x = 0$ puis $x = \frac{\pi}{2}$ et de diviser par $\sqrt{2}$ pour avoir les valeurs efficaces. On trouve ainsi

$$e'_1 = 0{,}707 \times 1372 \cos 37^\circ = 720 \qquad e''_1 = 0{,}707 \times 1372 \cos 127^\circ = -540$$
$$e'_3 = 0{,}707 \times 566 \cos 45^\circ = 283 \qquad e''_3 = 0{,}707 \times 566 \cos 315^\circ = +283$$
$$e'_5 = -0{,}707 \times 0{,}244 \cos 53^\circ = -104 \qquad e''_5 = -0{,}707 \times 244 \cos 37^\circ = -138$$

et par suite l'expression de la tension sous forme de quantité complexe est :

$$\overline{E} = (720 - 540\sqrt{-1_1}) + (283 + 283\sqrt{-1_3}) + (-104 - 338\sqrt{-1_3})$$

D'autre part les expressions des impédances pour les trois sinusoïdes, tirées de

$$R_n = r_n + \sqrt{-1_n}\left(ns - \frac{C}{n}\right),$$

sont

$$R_1 = 10 - 80\sqrt{-1_1} \qquad \text{mod. } R_1 = 80{,}6$$
$$R_3 = 10 \qquad \text{mod. } R_3 = 10$$
$$R_5 = 10 + 32\sqrt{-1_5} \qquad \text{mod. } R_5 = 33{,}5$$

On en déduit pour l'expression du courant

$$\overline{I} = \frac{720 - 540\sqrt{-1_1}}{10 - 80\sqrt{-1_1}} + \frac{283 + 283\sqrt{-1_3}}{10} + \frac{-104 - 138\sqrt{-1_5}}{10 + 32\sqrt{-1_5}}$$
$$= (7{,}76 + 8{,}04\sqrt{-1_1}) + (28{,}3 + 28{,}3\sqrt{-1_3}) + (-4{,}86 + 1{,}73\sqrt{-1_5})$$

La valeur efficace de ce courant est de 41,85 ampères et celles des trois harmoniques.

$$I_1 = 11{,}15\,, \quad I_3 = 40 \quad I_5 = 5{,}17$$

La puissance apparente totale est

$$Q = EI = 41850 \text{ watts},$$

et la puissance vraie.

$$P_1 = [\overline{E}\,\overline{I}]_1 = 1240 + 16000 + 270 = 17510\,.$$

L'expression symbolique de la puissance déwattée est ici :

$$\frac{P}{\sqrt{-1}} = [\overline{E}\,\overline{I}]_{\sqrt{-1}} = -10000\sqrt{-1_1} + 850\sqrt{-1_5}$$

ce qui donne pour expression de la puissance totale

$$P = 17510 - 10000\sqrt{-1_1} + 850\sqrt{-1_5}$$

la puissance déwattée de la première harmonique est en avance tandis que celle de la troisième est en retard.

Evidemment la puissance vraie est égale à rI^2.

Le facteur de circuit est :

$$\overline{U} = \frac{\overline{P}}{Q} = \frac{[\overline{E}\,\overline{I}]}{EI} = 0{,}418 - 0{,}239\sqrt{-1_1} + 0{,}0203\sqrt{-1_5}$$

***

Digitized by Google

expression dont le module est :

$$u = \sqrt{0{,}418^2 + 0{,}2593^2} = 0{,}492$$

Le facteur d'inductance de la première harmonique est négatif à cause de la prépondérance de la capacité tandis que celui de la cinquième est positif.

Le complément q_0 du facteur de puissance est

$$q_0 = \sqrt{1 - p^2} = 0{,}914 ;$$

l'angle apparent de phase est donc de 65°,4, décalage apparent très grand tandis qu'en réalité 40 ampères sur les 41,85 ampères totaux sont en coïncidence de phase avec la tension qui les produit.

Dans le cas actuel la tension et le courant ne pourraient être représentés par les sinusoïdes équivalentes. Les grandeurs relatives des différentes harmoniques de la tension et du courant diffèrent essentiellement et le circuit a à la fois un très faible facteur de puissance et un faible facteur d'inductance, sans qu'il y ait un grand décalage réel de phase.

Un tel circuit est analogue à ceux contenant des arcs ou des machines à réaction variable avec la position, ou encore des self-inductions à circuit magnétique très saturé ou enfin à des lignes à haut potentiel avec une tension supérieure à celle pour laquelle les décharges disruptives commencent.

Le second exemple traité par M. Steinmetz est celui d'un condensateur de capacité $c_0 = 20$ microfarads branché en série sur le circuit d'un alternateur dont la tension induite a pour expression en fonction du temps

$$-E(\cos x - 0{,}1 \cos 3x - 0{,}08 \cos 5x + 0{,}06 \cos 7x),$$

et dont l'impédance pour une harmonique d'ordre n est :

$$R_0 = r_0 + \sqrt{-1_n}\, ns_0 = 0{,}3 + 5n\sqrt{-1_n}$$

L'expression complexe de la force électromotrice induite est :

$$\overline{E} = e\,[(1) - (0{,}1) - (0{,}08) + 0{,}06)].$$

L'inductance de capacité si la fréquence de l'alternateur est de 60 périodes a pour valeur

$$c = \frac{10^6}{\frac{2\pi}{T} c_0} = 132$$

la résistance est donc pour l'harmonique d'ordre n

$$-\frac{c}{n}\sqrt{-1_n} = \frac{132}{n}\sqrt{-1_n}$$

En désignant par

$$R = r + ns\sqrt{-1_n}$$

la résistance apparente du circuit en série avec le condensateur, l'impédance totale du circuit pour une harmonique de rang n sera

$$R = R_0 + R_1 + \frac{c}{n}\sqrt{-1_n}$$

$$= (0{,}3 + r) + \sqrt{-1_n}\left[(5 + s)n - \frac{132}{n}\right].$$

Digitized by Google

On déduit de là l'expression du courant dans le circuit

$$\overline{I} = \frac{\overline{E}}{R} = e\left[\frac{1}{(0,3+r)+\sqrt{-1_1}\,(s-127)} - \frac{0,1}{(0,3+r)-\sqrt{-1_3}\,(3s-29)} - \frac{0,08}{(0,3+r)\sqrt{-1_5}\,(5s-1,4)} + \frac{0,06}{(0,3+r)-\sqrt{-1_7}\,(7s+16,1)}\right].$$

expression qui permet de calculer la différence de potentiel aux bornes du condensateur, laquelle est :

$$\overline{E}_1 = \Sigma - \sqrt{-1_n}\,\frac{c\overline{I}}{n} = -e\left[\frac{132\sqrt{-1_1}}{(0,3+r)+\sqrt{-1_1}\,(s-127)} - \frac{4,4\sqrt{-1_3}}{(0,3+r)+\sqrt{-1_3}\,(3s-29)} - \frac{2,11\sqrt{-1_5}}{(0,3+r)+\sqrt{-1_5}\,(5s-1,4)} + \frac{1,13\sqrt{-1_7}}{(0,3+r)+\sqrt{-1_7}\,(7s+16,1)}\right].$$

La réactance apparente de la capacité est

$$C_1 = \frac{E_1}{I},$$

et la capacité apparente

$$C = \frac{10^6}{\frac{2\pi}{T}\,c_1}.$$

Deux cas particuliers sont intéressants à étudier : ce sont ceux où la résistance r ou l'inductance s du circuit sont nulles.

Les valeurs de c s'obtiennent en calculant les valeurs efficaces de $\overline{E}$ et $\overline{I}$ par l'expression (10); on a : 1° Pour $s = 0$

$$\frac{1}{c_1^2} = \frac{\frac{1}{(0,3+r)^2+16\,129} + \frac{0,01}{(0,3+r)^2+841} + \frac{0,0064}{(0,3+r)^2+1,96} + \frac{0,0036}{(0,3+r)^2+259}}{\frac{16\,129}{(0,3+r)^2+16\,129} + \frac{19,4}{(0,3+r)^2+841} + \frac{4,45}{(0,3+r)^2+1,96} + \frac{1,28}{(0,3+r)^2+259}};$$

2° Pour $r = 0$

$$\frac{1}{c_1^2} = \frac{\frac{1}{0,09+(s-127)^2} + \frac{0,01}{0,09+(3s-29)^2} + \frac{0,0064}{0,09+(5s-1,4)^2} + \frac{0,0036}{0,09+(7s+16,1)^2}}{\frac{16\,129}{0,09+(s-127)^2} + \frac{0,01}{0,09+(3s-29)^2} + \frac{4,45}{0,09+(5s-1,4)^2} + \frac{1,28}{0,09+(7s-16,1)^2}}.$$

Si l'on fait varier r ou s et si l'on représente la valeur de la capacité apparente C en fonction de ces variables, on obtient les courbes de la figure 1.

On voit (courbe I) que si l'on place une résistance sans induction dans le circuit de l'alternateur et du condensateur la capacité apparente varie, depuis le court-circuit jusqu'à circuit ouvert, de 84 microfarads, c'est-à-dire de 4,2 fois la capacité réelle du condensateur, à 20,3 microfarads, c'est-à-dire à la capacité réelle à 1,5 o/o près.

Avec une inductance variable le phénomène est plus complexe, la courbe de la capacité apparente présentant un maximum chaque fois qu'il y a résonance pour une des harmoniques, maximum d'autant plus grand que l'ordre de l'harmonique est plus élevé. Ainsi la courbe II qui naturellement, part du même point que la courbe I, présente un maximum égal à 5,03 fois la capacité réelle lorsque l'inductance est égale à 0,28 ω, valeur qui correspond à la résonance pour la cinquième harmonique. La courbe s'abaisse ensuite à

Digitized by Google

27 microfarads pour remonter à 60,2 microfarads ou 3,01 fois la valeur de la capacité réelle lorsque l'inductance en série correspond à la résonance de la troisième harmonique. Pour une inductance très grande la capacité apparente tend vers 20,2 microfarads.

Les maxima et minima de la capacité apparente sont dans une certaine limite indépendantes de l'amplitude maxima des harmoniques d'ordre élevé de la courbe de tension induite de l'alternateur, mais dépendent simplement de leur présence. Ceci explique pourquoi la vraie capacité d'un condensateur ne peut être évaluée, même approximativement en mesurant la tension et le courant, si la courbe de la tension employée n'estpas rigoureusement sinusoïdale et contient par suite des harmoniques supérieures, à moins d'insérer en série une très grande résistance ou une très grande inductance.

Le dernier exemple donné par M. Steinmetz est également très instructif. C'est la détermination du courant et des puissances vraies fournies par un alternateur dont la courbe périodique de force électromotrice est sous forme d'expression complexe

$$\overline{E_0} = 2\,000\,[(1) + (0,12) - (0,23) - (0,13)]$$

et dont l'impédance intérieure a pour valeur

$$R_0 = 0,3 + 5n\sqrt{-1_n}\,.$$

Cet alternateur alimente un moteur synchrone de tension

$$\overline{E_1} = 2\,250\,[(\cos\omega - \sqrt{-1_1}\sin\omega) + 0,24\,(\cos 3\omega - \sqrt{-1_3}\sin 3\omega)]$$

et d'impédance

$$R_1 = 0,3 + 6n\sqrt{-1_n},$$

à travers une ligne d'impédance

$$R_2 = 2 + 4n\sqrt{-1_n}.$$

En désignant par R l'impédance totale, l'expression complexe du courant est

$$\overline{I} = \frac{\overline{E_0} - \overline{E_1}}{R} = \frac{2\,000 - 2\,250\cos\omega + 2\,250\sin\omega\sqrt{-1_1}}{2,6 + 15\sqrt{-1_1}} + \frac{240 - 540\cos 3\omega + 540\sin 3\omega\sqrt{-1_3}}{2,6 + 15\sqrt{-1_7}} - \frac{460}{2,6 + 15\sqrt{-1_5}} - \frac{260}{2,6 + 15\sqrt{-1_5}} = \Sigma\,(a'_n + b'_n\sqrt{-1_n}),$$

en posant

$a_1' = 22,5 - 25,2\cos\omega + 146\sin\omega$ $\qquad$ $a_1'' = -130 + 146\cos\omega + 25,2\sin\omega$

$a_3' = 0,306 - 0,69\cos 3\omega + 11,9\sin 3\omega$ $\qquad$ $a_3'' = -5.3 + 11,9\cos 3\omega + 0,69\sin 3\omega$

$a_5' = -0,213$ $\qquad$ $a_5'' = 6,12$

$a_7' = -0,061$ $\qquad$ $a_7'' = 2,48$

Ces valeurs permettent de calculer les intensités efficaces des harmoniques du courant ; deux sont constantes quel que soit ω, ce sont :

$$a_5 = 6,12 \qquad a_7 = 2,48,$$

Le courant total est

$$I = \sqrt{a_1^2 + a_3^2 + a_5^2 + a_7^2}$$

et le courant dû aux harmoniques supérieures

$$I_0 = \sqrt{a_3^2 + a_5^2 + a_7^2}$$

La puissance vraie absorbée par le moteur synchrone est

$$P_1 = [\overline{E_1}\,\overline{I}]_1 = (2\,250\,a_1'\cos\omega + 2\,2250\,a_1''\sin\omega) + (540\,a_3'\cos 3\omega + 540\,a_{13}''\sin 2\omega),$$

Digitized by Google

les deux termes entre parenthèses représentant le premier la puissance P^1_1 due à la sinusoïde principale et le second celle P^3_1 due à la troisième harmonique. La cinquième et la septième ne donnent aucune puissance réelle, le moteur ne contenant pas ces harmoniques. Si l'on donne à ω différentes valeurs qui représentent l'angle de phase entre la tension induite dans le générateur et celle induite dans le moteur on obtient pour le courant total I, le courant dû aux harmoniques supérieures I_0 et les puissances P_1, P^1_1, P^3_1 les courbes de la figure 2.

A chaque valeur du courant total I correspondent deux valeurs de la puissance totale, une positive portée sur la courbe I qui correspond au fonctionnement en moteur (courbe I) et une négative correspondant au fonctionnement en génératrice (courbe II). La courbe III donne le courant dû aux harmoniques supérieures et la courbe IV est le rapport $\frac{I - I_0}{I}$

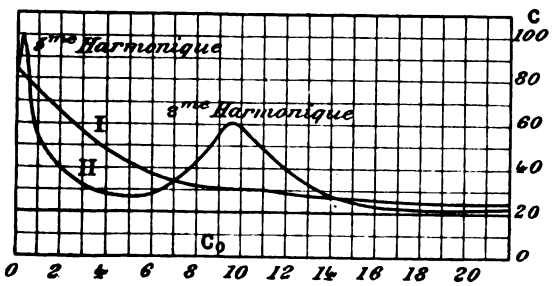


Fig. 1.

Effet d'une capacité en série avec le circuit d'un alternateur dont la courbe périodique de la force électromotrice a pour expression

$$\mathcal{E} = E(\cos x - 0{,}1\cos 3x - 0{,}08\cos 5x + 0{,}06\cos 7x)$$

et dans la résistance apparente intérieure est

$$R_0 = 0{,}3 + 5\,n\sqrt{-i_n}$$

I. Variation de la capacité apparente en fonction de la résistance du circuit extérieur sans induction.

II. Variation de la capacité apparente en fonction de l'inductance du circuit extérieur sans résistance ohmique.

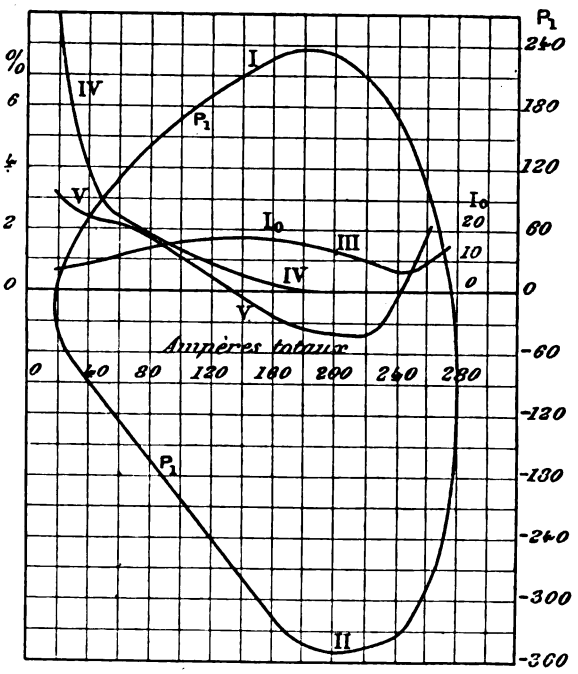


Fig. 2.

Courbe de la puissance totale et de celle due à la 3e harmonique absorbées par un moteur synchrone de tension induite

$$\mathcal{E}_1 = 2250\,[(\cos\omega - \sin\omega\sqrt{-i_1} + 0{,}24\,(\sin 3\omega - \sin 3\sqrt{-i_3})]$$

alimenté par une génératrice de tension

$$\mathcal{E}_0 = 2000\,[(1) + (0{,}12) - (0{,}23) - (0{,}13)]$$

à travers un circuit d'impédance totale

$$R_n = 2{,}6 + 1\,5\,n\sqrt{-i_n}$$

I. Courbe de la puissance en moteur en fonction du courant total I.

II. Courbe de la puissance en génératrice.

III. Courbe du courant dû aux harmoniques supérieures en fonction du courant total.

IV. Variation du rapport $\frac{I - I_0}{I}$ en fonction de I.

V. Variation du rapport de la puissance due à la 3e harmonique à la puissance totale en fonction de I.

La courbe V représente la puissance relative de la troisième harmonique c'est-à-dire le rapport de la puissance de la troisième harmonique à la puissance totale. Les courbes III, IV et V correspondent au fonctionnement en moteur, c'est-à-dire à la courbe I.

On voit que l'importance du courant dû aux harmoniques supérieures est petite et disparaît même à partir de 180 ampères.

La puissance de la troisième harmonique est positive et par suite s'ajoute à celle de la

Digitized by Google

sinusoïde principale jusqu'à 140 ampères environ, c'est-à-dire au voisinage du maximum de puissance du moteur, elle est ensuite négative.

En somme les harmoniques supérieures peuvent ne pas donner lieu à grande augmentation du courant tout en contribuant plus ou moins à fournir de la puissance au moteur. Ainsi à 75 ampères le pourcentage d'accroissement de puissance dû à la troisième harmonique est égal à celui de l'accroissement du courant, la troisième harmonique donne alors un résultat de même valeur relative que la sinusoïde fondamentale.

Ces quelques exemples suffisent amplement à montrer les avantages qu'on peut tirer de la méthode de Steinmetz ainsi généralisée. Cette méthode permet non seulement de simplifier de beaucoup les calculs, mais elle suggère aussi un perfectionnement ou une généralisation des méthodes graphiques, laquelle consisterait à traiter séparément et à la façon habituelle les effets des différentes harmoniques. Elle sera donc le point de départ d'une recrudescence des études sur les phénomènes dûs aux courants alternatifs.

C.-F. GUILBERT.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

PILES ET ACCUMULATEURS

Pile Poppenburg. Brevet allemand n° 106025, du 14 décembre 1897.

L'électrode positive est un cylindre creux en charbon de cornue rempli de matière dépolarisante et fermé inférieurement par une plaque isolante. L'électrode négative est un cylindre de zinc. Ces deux électrodes reposent sur un faux fond constitué par une plaque poreuse horizontale. Entre cette plaque et le fond du vase contenant les éléments de la pile se trouve une couche assez épaisse de sulfate acide de sodium additionné ou non de chlorure de sodium. Lorsqu'on verse de l'eau dans le vase, une partie traverse la paroi poreuse, dissout les sels de la couche saline et cette solution passant par endosmose dans l'autre portion de l'eau, l'électrolyte se trouve constitué.

Cette pile conserve pendant très longtemps une force électromotrice constante d'environ 2 volts.

Pile Harrison. *Elektrochemische Zeitschrift*, t. VI, p. 215-218, janvier 1900.

Cette pile présente certaines particularités intéressantes, telle qu'une force électromotrice considérable et une grande régularité de débit.

L'électrode positive est constituée par du bioxyde de plomb obtenu par voie électrolytique. Ce bioxyde est fortement comprimé, au moyen de presses hydrauliques autour d'un cylindre de plomb antimonié (fig. 1) ou dans une sorte de corbeille également en plomb antimonié dont la surface latérale, maintenue par quatre cloisons radiales, est percée de trous (fig. 2).

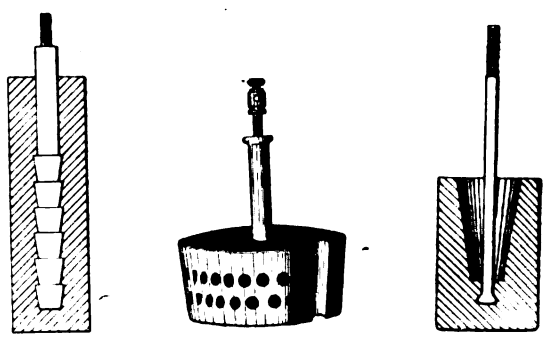


Fig. 1 à 3. — Electrodes positives et électrode négative des piles Harrison.

L'électrode négative est formée, dans un modèle, d'un cylindre de zinc creusé d'une cavité conique (fig. 3) dans laquelle on met de l'amalgame de zinc ; une tige de cuivre vissée au fond de la cavité, aboutit à la borne formant le pôle négatif de la pile. Dans un autre modèle l'électrode est simplement constituée par une feuille de zinc placée au fond de l'élément et sur laquelle on met du zinc en grenaille ; du mercure

Digitized by Google

versé au fond du vase assure l'amalgamation; une tige de cuivre, soudée à la plaque de zinc, aboutit à la borne négative du couvercle.

L'électrolyte est de l'acide sulfurique étendu ou une dissolution de sulfate acide ou neutre de potassium. Lorsqu'on emploie de l'acide sulfurique il faut avoir soin de prendre de l'acide tout à fait pur, les impuretés donnant lieu à des courants locaux en se précipitant sur l'électrode positive.

Les figures 4 et 5 donnent l'aspect des deux modèles de cette pile, l'un (fig. 4) à faible débit, l'autre (fig. 5) à fort débit.

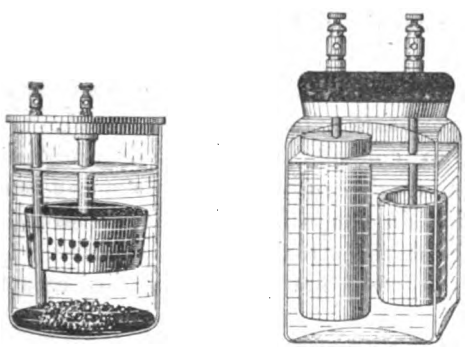


Fig. 4 et 5. — Eléments Harrisson à faible et à fort débit.

La force électromotrice est de 2,45 volts au début. La résistance intérieure de l'élément à faible débit est de 0,15 ohm; cet élément peut donner un courant dont l'intensité atteint 16 ampères. Fermé pendant douze jours, à raison de huit heures par jour, sur une résistance de 8 ohms, sa force électromotrice a baissé peu à peu jusqu'à 1,8 volt; quatre éléments, genre Leclanché, soumis au même essai et dont la force électromotrice initiale était de 1,3 à 1,6 volt suivant l'élément, n'avaient plus au bout des douze jours que 0,2, 0,6, 0,8 et 1,1 volt comme force électromotrice. Le modèle d'élément à fort débit a une moindre résistance intérieure; en outre la dépolarisation est plus active, la surface du bioxyde de plomb étant plus grande; un élément de ce genre peut fournir 300 ampères-heure avant d'être épuisé. A. L.

Accumulateur T. de Michalowski à sesquioxyde de nickel. Brevet anglais n° 15370, déposé le 26 juillet 1899, accepté le 22 novembre 1899.

L'électrode positive est une plaque de nickel recouverte d'une couche active de sesquioxyde de nickel ($Ni^2 O^3$), l'électrode négative une plaque de zinc, l'électrolyte une solution alcaline. Le point caractéristique de cet accumulateur est l'emploi du sesquioxyde de nickel comme dépolarisant, car si l'on a déjà breveté de nombreux accumulateurs zinc-potasse-oxyde métallique (cuivre, cobalt, nickel, etc.) on n'a jamais songé, d'après l'inventeur, à signaler l'utilisation de la propriété qui distingue le sesquioxyde de nickel de la plupart des autres oxydes : celle d'être un composé endothermique et par conséquent de se décomposer en dégageant de la chaleur. Grâce à cette propriété la dépolarisation est active et la force électromotrice de l'élément se maintient élevée.

L'oxydation initiale de la plaque de nickel s'obtient en la chauffant soit dans l'air, soit dans l'oxygène, soit dans un composé oxygéné de l'azote sous pression, soit mieux dans de l' « oxygène naissant » à une température d'au moins 300° C.

Méthode graphique pour la détermination d'une batterie tampon, par **Moritz Kœhn**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 78, 25 janvier 1900.

Le professeur Moritz Köhn, de Pilsen a imaginé une méthode graphique qui permet de déterminer commodément la répartition du travail entre une machine dynamo-électrique et une batterie en parallèle, et aussi de calculer une batterie tampon.

La relation qui existe entre l'intensité du courant, positive ou négative, et la différence de potentiel aux bornes d'un accumulateur peut se représenter, comme on le fait pour les machines, par une courbe que l'on peut appeler la « caractéristique » de l'accumulateur considéré.

La figure 1 montre l'allure de la courbe ainsi obtenue, la partie située à droite de l'axe des ordonnées se rapportant à la charge et la partie gauche à la décharge. Cette courbe indique que pour une différence de potentiel égale, par exemple, à $\overline{12}$ l'accumulateur se chargera avec une intensité égale à $\overline{01}$ et que pour la différence de potentiel $\overline{34}$ il se déchargera à l'intensité $\overline{03}$.

La résistance de l'élément pour un point déterminé de la courbe, 2 par exemple, est évidemment donnée par $R = \operatorname{tg} \alpha_1$.

Pour avoir la répartition du travail entre une machine et une batterie fonctionnant en parallèle, il suffira de représenter, comme en

Digitized by Google

figure 2, les deux caractéristiques D de la dynamo et A de la batterie. On voit clairement que pour la différence de potentiel $e = \overline{01}$ la

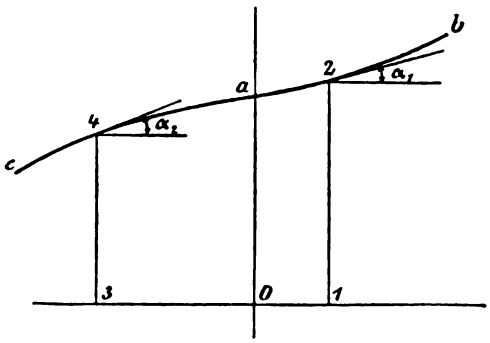


Fig. 1.

machine débite un courant d'intensité $i = \overline{11'}$ entièrement utilisé dans le circuit extérieur, la

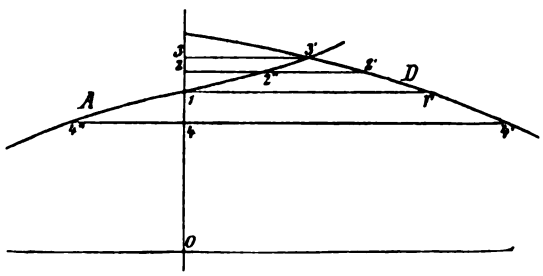


Fig. 2.

batterie étant en repos. Si la différence de potentiel vient à croître, la batterie se charge ; ainsi au point $e = \overline{02}$ la machine débite un courant d'intensité $i = \overline{22'}$ dont une partie $\overline{22''}$ charge la batterie, et l'autre $\overline{2'2''}$ le réseau. Au point $e = \overline{03}$ il n'y a plus de courant sur le réseau, toute l'intensité de la machine passant dans la batterie.

Au contraire, si la différence de potentiel descend au-dessous de $\overline{01}$ la batterie débite concurremment avec la machine sur le réseau ; ainsi pour $e = \overline{04}$ la batterie fournira au réseau un courant d'intensité $i = \overline{44''}$ et la machine $i = \overline{44'}$; l'intensité totale dans le circuit extérieur devenant égale à $\overline{4'4''}$.

A l'aide de ces deux courbes on représentera facilement la variation de la différence de potentiel avec l'intensité sur le réseau. Cette courbe caractéristique L du circuit extérieur peut être raclée soit à droite de l'axe des ordonnées, comme en figure 3, soit à gauche comme dans les figures suivantes. La figure 3 montre très

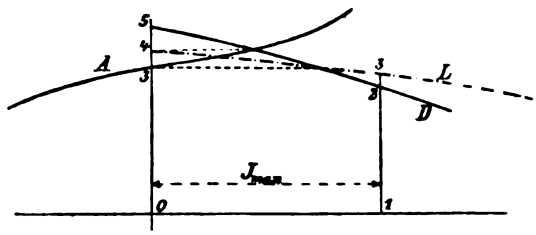


Fig. 3.

nettement l'influence de la batterie tampon : entre les deux valeurs $i_{max} = \overline{01}$ et $i_{min} = 0$ la différence de potentiel du réseau oscillerait entre $e = \overline{05}$ et $e = \overline{12}$ si la machine alimentait seule le réseau. L'emploi de la batterie réduit cette variation entre $e = \overline{04}$ et $e = \overline{13}$.

Si on connaît la variation de l'intensité du réseau, on déterminera de la façon suivante en fonction du temps la variation de l'intensité de courant de la batterie et de la machine.

On représentera (voir fig. 4) les caractéris-

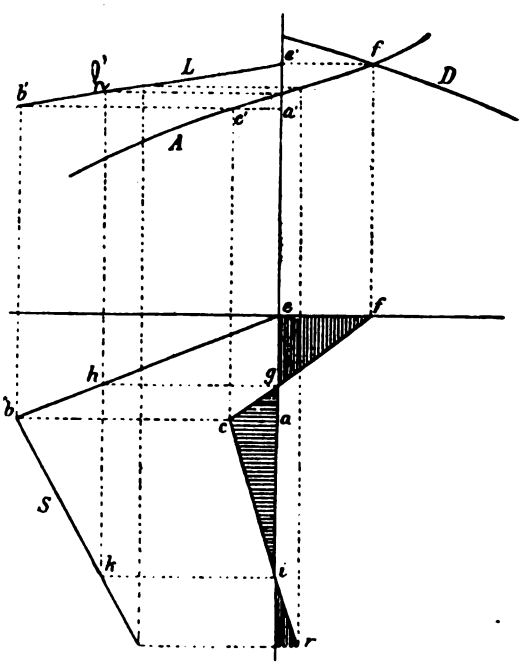


Fig. 4.

tiques D et A, ainsi que la courbe L de variation du courant dans le réseau, l'axe inférieur des ordonnées représentant les temps, et celui des abscisses, les intensités. Pour la consommation

Digitized by Google

maxima $ab = a'b'$ la batterie fournira $a'c' = ac$. Quand l'intensité extérieure sera $g'h' = gh$, la batterie sera au repos. L'intensité extérieure devenant nulle, la batterie chargera $e'f' = ef$. En prenant un nombre suffisant de points on pourra tracer la

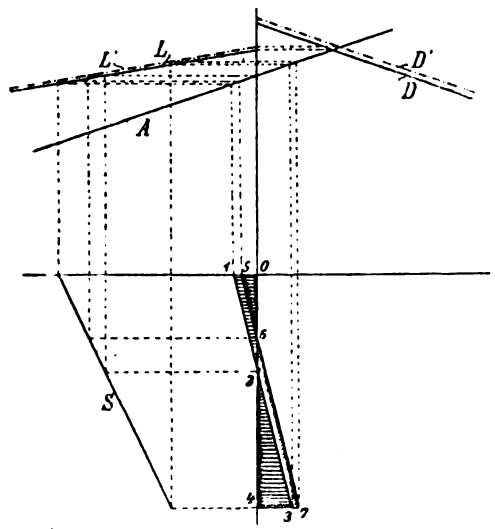


Fig. 5.

courbe *fcr* dont la surface hachurée horizontalement représente les ampères-heure débités par

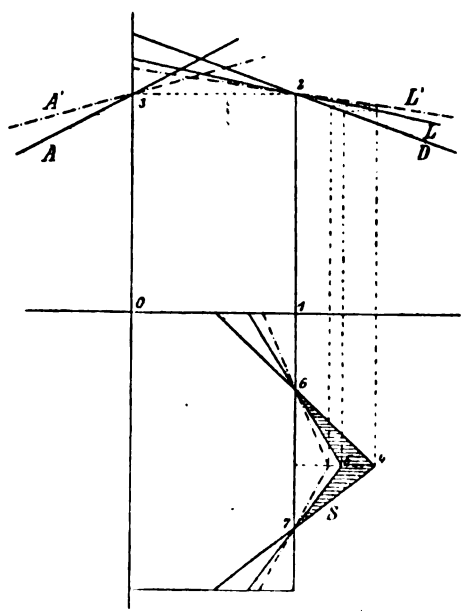


Fig. 6.

la batterie, et la surface à hachures verticales, la charge de celle-ci en ampères-heure.

Le rapport entre la quantité d'électricité fournie par la batterie et celle qu'elle charge varie essentiellement avec la caractéristique de la machine ainsi que le montre la figure 5 dans laquelle le rapport considéré est celui des surfaces 0, 1, 2 à 2, 3, 4 dans le cas de la caractéristique D ; et celui des surfaces 0, 5, 6 à 6, 7, 4 dans le cas d'une caractéristique légèrement différente D'.

L'influence de la résistance intérieure de la batterie est également considérable ; ainsi pour la caractéristique D de la machine et A de la batterie, on obtient comme caractéristique extérieure L (voir fig. 6) et la quantité d'électricité débitée par la batterie pendant la période S est représentée par la surface 6, 5, 7, 4. Avec une batterie moins résistante (caractéristique A'), cette surface deviendrait 6, 8, 7, 4.

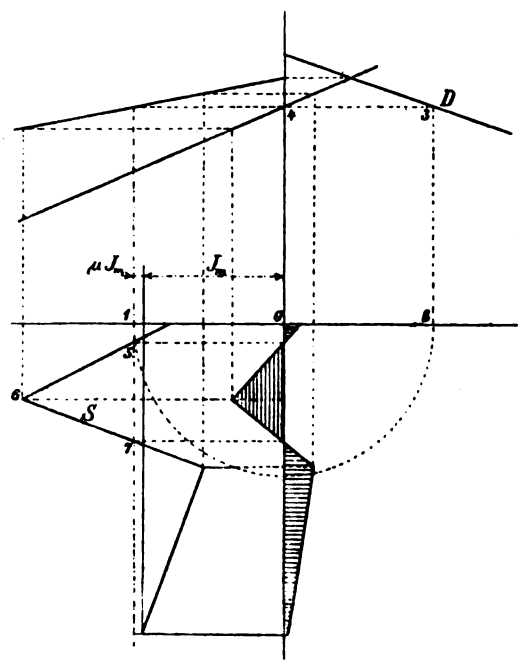


Fig. 7.

Une batterie parfaite de résistance nulle fournirait toute la quantité d'électricité représentée par la surface 6, 7, 4 et correspondante à l'intensité extérieure supérieure à l'intensité moyenne $\overline{01}$.

Pour calculer une batterie tampon d'une exploitation dont on connaîtra les variations d'intensité S (fig. 7) on tracera d'abord la caractéristique D de la machine.

Digitized by Google

On supposera que la batterie doit rester au repos pour une intensité extérieure égale à l'intensité moyenne Jm ou mieux pour une intensité légèrement supérieure $J_m(1+\mu)=\overline{01}$ de façon que la batterie débite un peu moins qu'elle ne charge. Ce courant moyen devant être fourni par la machine seule, la différence de potentiel de la machine sera alors $e_0=\overline{23}$ et la force électrotrice de la batterie $\overline{04}=\overline{23}$.

Connaissant la force électromotrice e_2 d'un élément, le nombre d'éléments sera donné par

$$n=\frac{e_0}{e_2}$$

Une batterie de résistance intérieure nulle fournirait en ampères-heure, pour la période où l'intensité extérieure est supérieure à $J_m(1+\mu)$, une quantité correspondante à la surface 5, 6, 7.

En réalité la batterie ne fournira qu'une fraction $\frac{1}{2}$ à $\frac{2}{3}$ de cette surface. Pour le choix de la batterie on prend en pratique la type d'élément dont la capacité est égale à 5 ou 6 fois la capacité correspondante à cette surface.

On en détermine la caractéristique qu'on trace sur la figure en la faisant passer par le point 4. On en déduit comme précédemment la caractéristique extérieure et enfin le travail de la batterie par les surfaces hachurées.

L. JUMAU.

Sur la batterie tampon des tramways de Reichenberg (Autriche-Hongrie), par **U. Schoop**. *Zeitschrift fur Elektrotechnik*, t. XVII, p. 467-473, 10 septembre 1899.

Dans cet article nous retiendrons tout particulièrement ce qui concerne la batterie-tampon, sur laquelle d'ailleurs l'auteur insiste spécialement. Donnons toutefois un aperçu des conditions générales de l'installation.

La ligne qui va de la Gare à Volksgarten, a 3,3 km, et est particulièrement accidentée ainsi que le montre le profil (fig. 1). On voit qu'il y a à peine 200 m en palier et des rampes très fortes telles que

50 p.	1000	sur 450 m,	rue de la gare (Bahnofstrasse)
60	»	300 »	Wienerstrasse
70	»	300 »	Pragerstrasse
98	»	50 »	d°
75	»	100 »	Turnerstrasse
45	»	300 »	Kaiser Josefstrasse
65	»	500 »	d°

Les plus petits rayons de courbure sont de 20 m. La largeur de la voie est de 1 m; les rails sont du type Phénix, du poids de 33,5 kg par mètre courant.

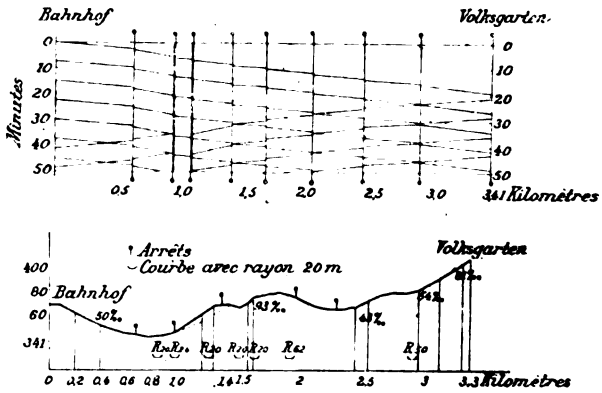


Fig. 1.

La vitesse des voitures varie, suivant la largeur des voies, de 8 km : h à 12 km : h, et le parcours est effectué en 20 minutes, arrêts compris aux onze stations.

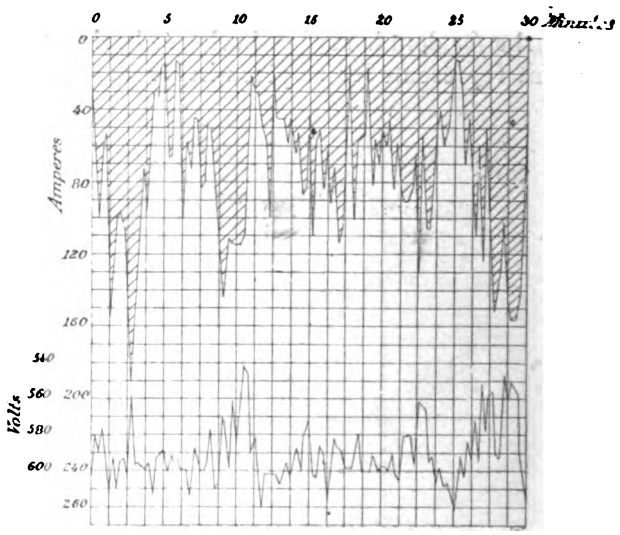


Fig. 2. — Courbes relatives à l'alimentation d'exploitation par machine seule.

La station centrale, spéciale à la ligne, occupe une surface de 990 m² et comprend une salle de machines, une salle de chaudières, un hangar à charbon, une cheminée de 50 m de haut, un bâtiment spécial à deux étages pour batterie-tampon et un vaste hall à voitures.

Les chaudières, du type ignitubulaire, sont

Digitized by Google

au nombre de trois, dont une de réserve ; elles sont timbrées à 8 atmosphères.

Dans la salle des machines, il y a deux groupes (machines à vapeur et dynamos), dont un de réserve, et place pour un troisième groupe.

La partie électrique a été fournie par l'Elektricitæts-Actien-Gesellschaft; les chaudières et machines à vapeur, par la Maschinen-Actien-Gesellschaft.

Le tableau suivant donne quelques chiffres caractéristiques des machines :

		RÉGIME normal	RÉGIME forcé
Durée de l'essai	en heures	7	8
Consommation totale d'eau d'alimentation	en kilogrammes	8488.5	12 420
Puissance moyenne indiquée, de la machine à vapeur	en chevaux	152.8	192.2
Consommation de vapeur par cheval-heure	en kilogrammes	7.74	7.95
Puissance effective de la machine à vapeur	en chevaux	132.2	171.4
Puissance disponible à la dynamo	d°	128.35	166.4
Perte par courroie	en p. 100	3	3
Rendement de la dynamo	d°	90	91
d° machine à vapeur	d°	86.5	89.2
Vitesse moyenne	en tours par minute	125.9	125.04
Surface de chauffe de la chaudière	80 m²		
d° de grille d°	1,65 m²		
Production de vapeur par heure et par m² de surface de chauffe	en kilogrammes	15.2	19.4
Charbon brûlé par heure	d°	162	227.5
d° d° et par m² de surface de grille	d°	98.3	137.8

Les machines dynamos qui sont à excitation shunt, peuvent donner normalement 184 ampères et 600 volts.

L'exploitation de la ligne, sur laquelle les départs ont lieu toutes les 7,5 minutes, nécessite 7 voitures automotrices, plus 2 voitures de réserve ainsi que 2 voitures de remorque. Ces voitures sont à deux essieux actionnés par deux moteurs de 15 chevaux; elles renferment 16 places assises et 13 debout; leur poids à vide est de 7 400 kg.

Une nouvelle ligne, Tuchplatz-Rochlitz, ayant été construite cette année, on a dû augmenter de 5 le nombre des voitures automotrices et de 4 celui des voitures remorquées. Ces nouvelles voitures à deux essieux ont deux moteurs de 24 chevaux et pèsent à vide 8 200 kg.

Le conducteur aérien de 8,3 mm de diamètre est supporté par des poteaux tubulaires décorés dans les larges rues, et fixé à des rosaces le long des maisons dans les rues étroites. L'isolation est partout double; les protections téléphoniques sont constituées par des moulures en bois imprégné fixées sur le conducteur.

Les rails servent de conducteur de retour et sont raccordés par des conducteurs en cuivre de 10 mm de diamètre.

La batterie-tampon installée dans un bâtiment spécial à deux étages, est du système Gottf-Hagen, de Kulk, près de Cologne. Elle se compose de 290 éléments et a une capacité de 264 ampères-heures au régime de 264 ampères. Elle est capable de débiter 530 ampères pendant de courts intervalles; le courant de charge maximum est 164 ampères.

Cette batterie ne sert pas seulement de régulatrice, mais encore assure seule l'exploitation pendant les heures de moindre trafic, le matin de 6 h. 30 à 8 heures, et le soir de 8 heures jusqu'à la fin du service.

Avant l'installation de la batterie, il arrivait, le dimanche soir par exemple, que la différence de potentiel tombait de 600 à 450 et 400 volts, de sorte que les 6 lampes de 100 volts en tension étaient seulement rouges.

Les courbes de la figure 2 montrent les variations d'intensité et de différence de potentiel dans le cas d'exploitation par machine seule.

La figure 3 donne les mêmes éléments pour l'exploitation par batterie seule, le matin avant huit heures.

La figure 4 se rapporte à la marche en parallèle : la courbe *a* représente l'intensité fournie par la machine; *b*, celle fournie ou reçue par la

Digitized by Google

batterie ; et la courbe *c* représente les variations de différence de potentiel.

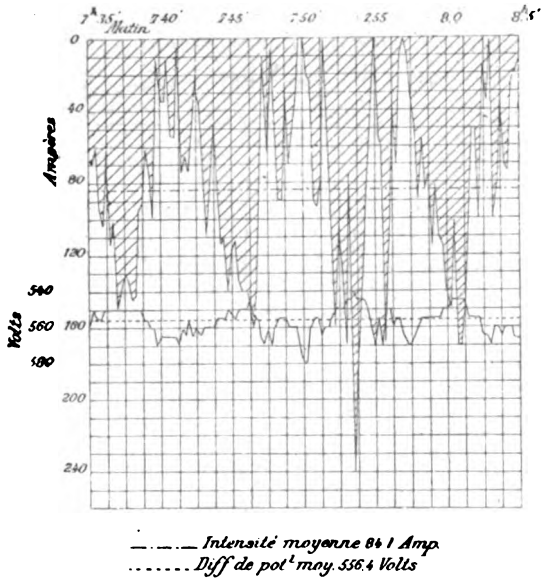


Fig. 3. — Courbes relatives à l'alimention par batterie seule.

L'examen de ces courbes montre qu'alors que dans le cas d'exploitation par machine seule, le courant de celle-ci oscille entre 12 et 190 ampères; par l'adjonction de la batterie-tampon,

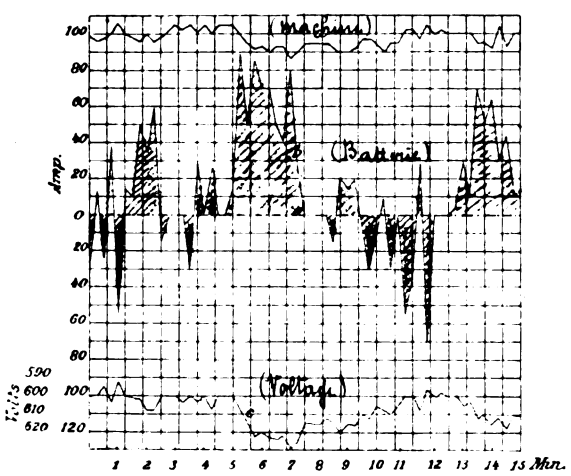


Fig. 4. — Courbes relatives à l'alimentation par machine et batterie en parallèle.

il ne varie plus que de 87 à 105 ampères. Dans le premier cas, la différence de potentiel oscille entre 558 et 620 volts, tandis qu'elle ne varie plus que de 586 à 628 volts dans le second cas, soit, par élément, de 2,16 à 2,04 volts.

Si on considère maintenant les variations de

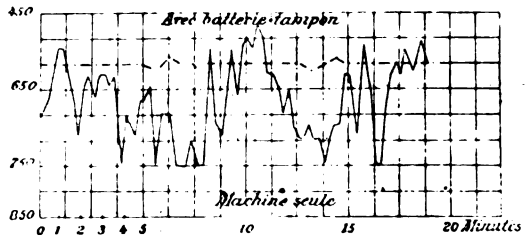


Fig. 5. — Vitesse angulaire de la machine avec batterie (— - — -) et sans batterie (————).

puissance de la machine, elles ne sont plus comprises qu'entre 61 et 54 kilowatts au lieu de 106 à 7 kilowatts.

Ce qui est plus frappant encore, c'est la

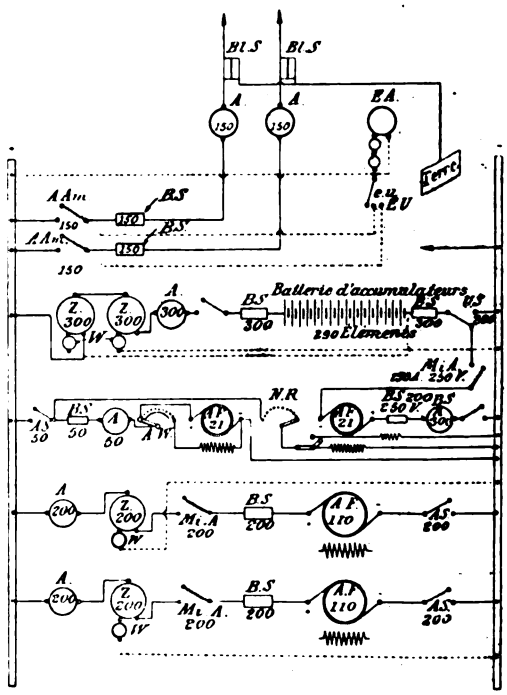


Fig. 6. — Schéma de l'installation.

différence entre les diagrammes tachymétriques (fig. 5).

Un survolteur a été prévu pour assurer les charges complémentaires à la batterie. Celle-ci reçoit tous les samedis soirs une charge complète. Les dispositions respectives des machines, batterie et survolteur, sont données par le schéma

Digitized by Google

de la figure 6 qui est suffisamment explicite par lui-même.

On se fera une idée des qualités du système d'accumulateurs employés pour cette batterie-tampon par les courbes de la figure 7, qui donnent les variations de différence de potentiel aux bornes de la batterie ou d'un élément en fonction de l'intensité du courant de décharge.

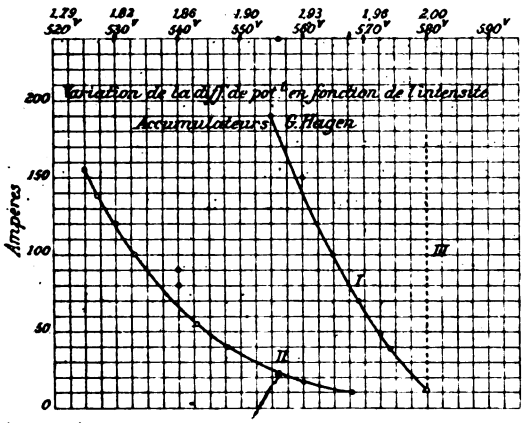


Fig. 7. — Courbes de décharge de la batterie.

La courbe I se rapporte à un état normal de la batterie; la courbe II, à la batterie entièrement épuisée. La courbe III se rapporte à l'accumulateur idéal, à résistance intérieure nulle.

Enfin aux nombreux avantages apportés par l'adjonction de cette batterie-tampon, il faut ajouter que le rendement de celle-ci agissant seulement comme batterie-tampon est très élevé et atteint facilement 90 p. 100 en énergie.

L. JUMAU.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Installation électrique des block-systèmes avec action directe du courant électrique sur le mécanisme. Système **F. Krizik** (Prague). *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVII, p. 392-398. — Communication au Congrès de Vienne.

Les sources d'électricité, utilisées jusqu'à présent pour le service des signaux, étaient si faibles, que l'on était obligé de recourir à des moyens mécaniques (poids, ressorts), ou à la main de l'homme, lorsqu'on avait besoin de forces assez considérables; et l'électricité ne jouait plus alors qu'un rôle secondaire.

Comme les dynamos et les accumulateurs permettent de produire l'électricité à volonté, à bon marché, de la conserver et de l'utiliser suivant les besoins, on tend à l'employer pour l'impulsion directe des signaux; par cet emploi on augmentera la sécurité et on diminuera les frais d'entretien.

En particulier, comme la marche dans des espaces limités se répand de plus en plus, c'est surtout aux block-systèmes que les forces électriques puissantes s'appliqueraient le mieux.

On peut voir, d'après l'installation décrite ci-dessous, que l'application de l'électricité aux block-systèmes, ainsi que l'organisation de leur dépendance mutuelle se résout très facilement.

L'ensemble de l'installation se compose :

1° D'un appareil moteur;

2° Des commutateurs automatiques reliés à l'appareil moteur, commutateurs dont le nombre dépend des services que doit rendre cet appareil;

3° D'un appareil permettant de transformer le mouvement de rotation de l'appareil moteur, en un mouvement de va et vient pour la mise en position des bras du sémaphore ou des aiguilles;

4° Des rails de contat;

5° Des sources d'électricité;

6° De la ligne qui réunit les differentes parties organiques de l'installation.

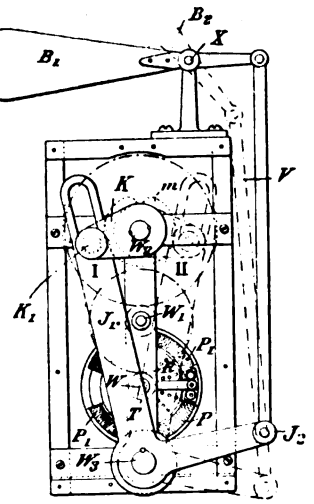


Fig. 1.

L'appareil moteur (fig. 1 et 2) est placé dans une boîte hermétiquement fermée, R est un électromoteur multipolaire, dans lequel l'enrou-

Digitized by Google

lement des pôles de rang pair P, est en sens inverse de celui des pôles de rang impair P_1. Le commencement de l'enroulement de chaque série des pôles est réuni à un fil de ligne, leurs extrémités sont connectées ensemble ; de là le courant passe dans le retors régulièrement enroulé qui, par suite, tournera dans un sens ou dans l'autre, suivant que le courant sera envoyé par une ligne ou par l'autre.

L'induit est fixé sur l'axe *W*, qui, par l'intermédiaire d'engrenage T, Z, T_1, Z_1 placés sur les axes W_1 et W_2 communique à ce dernier un mouvement de rotation très lent.

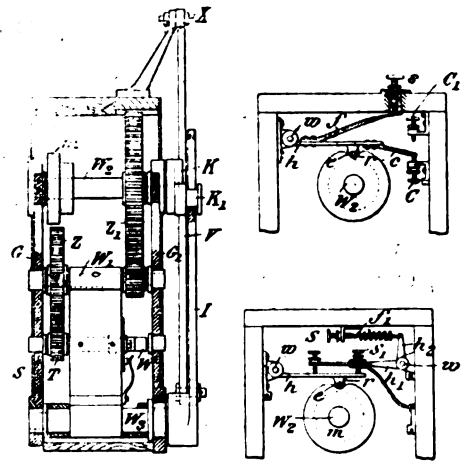


Fig. 2 à 4.

Le commutateur automatique (fig. 3), se compose d'un levier rigide *h* mobile autour de l'axe *w*. A son extrémité est rivé un petit balai en métal non oxydable *c* ; il porte également une roulette en ivoire *r* et un ressort *f* qui a pour but d'appuyer le levier *h* sur la borne *c*.

Au-dessous de ce levier se trouve une poulie *m*, placée sur l'axe W_2, et portant une encoche *e* dans laquelle descend la roulette *r* comme l'indique la figure 3, dans ce cas le balai *c* est en contact avec la vis C, en tournant la poulie *r* sort de l'encoche et le balai s'appuie sur la vis C_1.

Comme la position pour laquelle l'encoche *e* se trouve juste au-dessous de la roulette *r*, correspond à une position déterminée du signal, on ne pourra envoyer du courant à l'autre signal que par le contact C et *f*, une des conditions de la sécurité des signaux est donc réalisée.

Il est quelquefois nécessaire, pour les aiguillages, par exemple, de pouvoir replacer le signal dans sa position primitive ; on emploie dans ce cas le commutateur automatique représenté figure 4. Le levier *h*, mobile autour de l'axe *w*, muni comme précédemment d'une roulette en ivoire *r* ne porte aucun contact à ressort, un levier coudé h_1, mobile autour de l'axe w_1, porte une vis de contact *s* qui est appuyée sur le levier *h* par le ressort f_1. Si la poulie *m* tourne, la roulette *r* sort de l'encoche *e* et se soulève ainsi que le levier *h*. Mais h_1 se soulève également et *h* vient en contact avec la seconde vis isolée S_1, tandis que le contact entre *h* et S est interrompu.

Des bornes S, S_1 et du levier *h* partent trois câbles souples reliés aux points de connexion précédents.

On voit qu'avec ce commutateur, le contact pour la position opposée du signal qui en dépend (aiguille), sera fermé aussitôt que le signal qui commande cette dépendance se mettra en mouvement.

L'appareil destiné à la transformation du mouvement de rotation de l'appareil moteur en un mouvement de va et vient des bras du sémaphore, est placé à l'extérieur de la boîte renfermant l'appareil moteur.

Ainsi qu'on le voit (fig. 1 et 2), cet appareil se compose uniquement d'une manivelle K fixée à l'extrémité de l'axe W_2, le bouton de la manivelle K_1 glisse dans une rainure du levier coudé J_1 J_2 mobile autour de l'axe W_3, et le place dans la position I ou II suivant le sens de rotation de W_2. La transmission du mouvement du levier J_1 J_2 au sémaphore B, se fait par la tige rectiligne *V*.

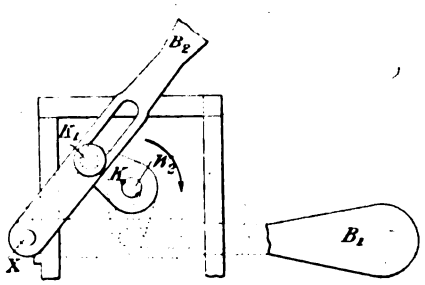


Fig. 5.

Une forme plus simple de cet appareil est donnée figure 5, et ne nécessite pas de plus amples explications.

Digitized by Google

Le contact par lequel le courant est conduit de la source d'électricité placée dans le train au signal, se compose (fig. 6 et 7) de la prise de

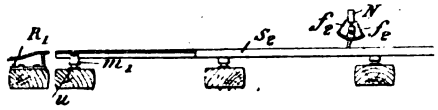


Fig. 6.

courant N, de deux pièces de fonte non isolée R_1, du rail de contact S_2 en forme d'U fixé sur isolateurs.

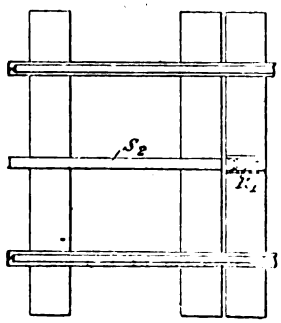


Fig. 7.

La prise de courant est ou un balai (fig. 9), ou une roulette (fig. 10).

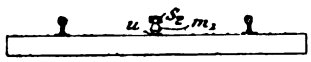


Fig. 8.

Les pièces de fonte R_1 ont pour but d'obtenir un mouvement d'ascension continu et sans

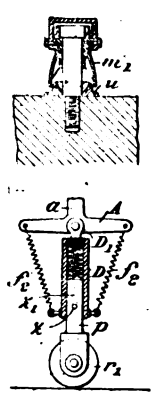


Fig. 9 et 10.

choc de la prise de courant sur le rail S_2, ainsi qu'un grossier nettoyage de ladite prise de courant.

La longueur du rail de contact S_2 dépend de la vitesse maxima des trains ; l'isolement et la fixation de ce rail sont visibles sur les figures 8 et 9.

Comme sources d'électricité, on peut employer des dynamos, de forts inducteurs ou des batteries d'accumulateurs. Les sources peuvent être placées à chaque signal ou sur le train. Dans le premier cas, il y a autant de sources d'électricité que de postes de signaux ; dans le second cas, une source suffit pour tous les postes de signaux, à l'exception des stations qui doivent manœuvrer les signaux d'arrivée et de départ. Si l'on emploie les inducteurs à courant continu ou des dynamos, il faut de préférence les manœuvrer par un poids pour obtenir un courant constant. Si la dynamo est fixée sur le train, elle sera mise en mouvement par lui ; pour obtenir un courant constant, on emploie une batterie d'accumulateurs comme batterie tampon.

Nous allons décrire maintenant la disposition et les connexions de l'installation, dans le but de la sécurité des trains et dans le cas de marche dans des espaces limités.

La marche des trains entre deux stations doit remplir les conditions suivantes :

1° Pour la station de départ : le sémaphore de départ doit être placé sur « Halte » aussitôt après le passage du train et ne doit être placé sur « Libre » que lorsque le train a dépassé le block-système suivant et que le sémaphore correspondant a pris la position « Halte ». La station doit en outre pouvoir, à son gré, placer le sémaphore de départ sur « Halte » ou sur « Libre » ;

2° Pour la station d'arrivée : le sémaphore d'entrée en gare doit être placé sur « Halte » après le passage de chaque train ; la station doit être en mesure de le placer à volonté sur « Halte » ou « Libre ».

3° Pour les block-systèmes : le sémaphore doit être placé sur « Halte » après le passage de chaque train, et rester dans cette position jusqu'à ce que le train ait dépassé le block-système suivant et que le signal correspondant soit placé sur « Halte ».

Dans les représentations schématiques (fig. 11 et 19), qui indiquent le fonctionnement d'ensemble des différentes parties, la marche dans

Digitized by Google

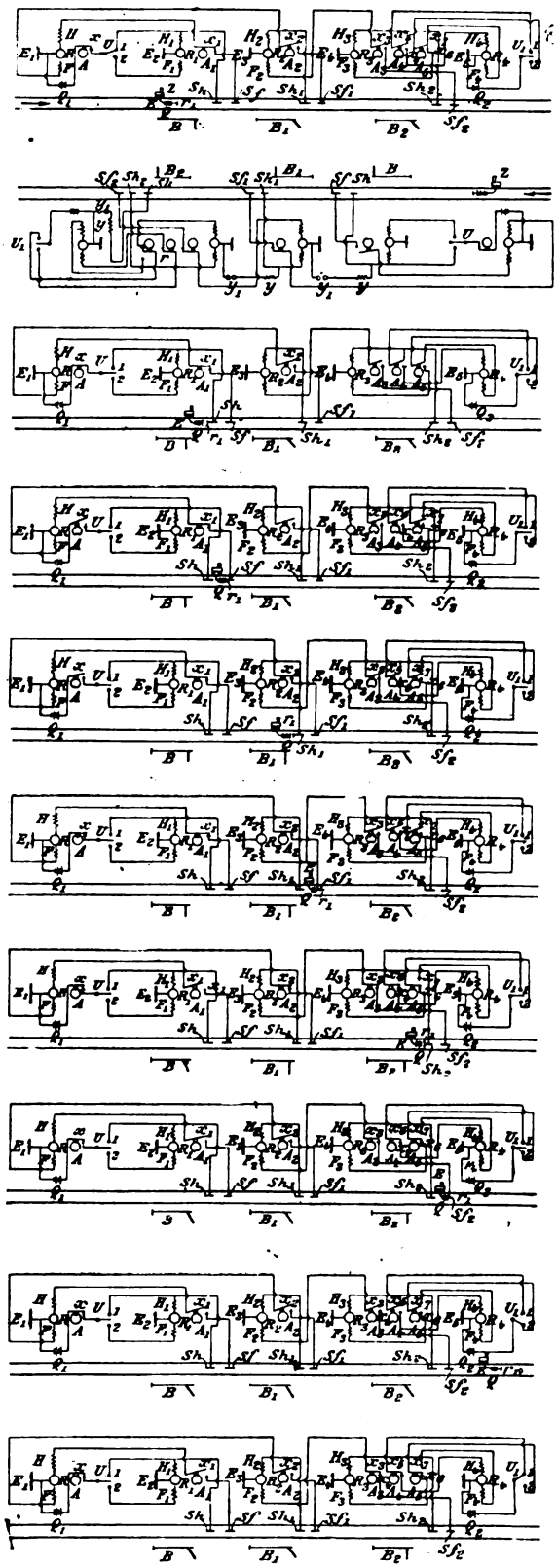


Fig. 11 à 19.

les deux directions est représentée par les figures semblables 11 et 11 *a*.

L'induit mobile de l'électromoteur par R, R_1, R_2, R_3, R_4.

Les pôles magnétiques, qui, par le passage du courant donnent au sémaphore la position « Halte » par H, H_1, ..., H_4 (P dans la figure 1).

Les pôles magnétiques qui donnent au sémaphore la position « Libre » par F_1 ....., F_4 (P_1 dans la figure 1).

Les commutateurs automatiques (fig. 3) par A, A_1, A_2, ..., A_5. Les commutateurs manœuvrés à la main par U et U_1.

Les sources d'électricité par Q, Q_1, Q_2.

Les rails de contact par S*h*, Sh_1, Sh_2, S*f*, Sf_1, Sf_2 et S*k*.

Les connexions avec la terre par E, E_1, ..., E_5.

Pour le service des block-systèmes, la source d'électricité est supposée sur le train, un pôle est en relation avec la prise de courant, l'autre à la terre par les roues et les rails.

Les figures 11 et 11*a* donnent une installation à deux voies, dans toutes les autres figures (12 à 19) on n'a représenté que la voie de départ (gauche).

Comme on le voit sur les figures ci-dessus désignées, il y a pour chaque block-système, outre le moteur et le commutateur automatique, deux rails de contact. Le premier (S*h*, Sh_1, Sh_2), est relié à l'enroulement d' « arrêt » H du moteur, tandis que le second (S*f*, Sf_1, Sf_2) est relié au contact fixe (x, x_1, etc.) du commutateur automatique (A, A_1, etc.), dont le contact mobile (levier *h*) est connecté avec le moteur du block-système précédent qui placera le sémaphore dans la position opposée.

Nous allons décrire maintenant les fonctions séparées d'une installation de block-système dans le cas du départ d'un train montant (gauche).

1° La station ne laisse pas partir le train quand le commutateur à main U est sur 1. Le circuit de la batterie Q_1 se ferme par x, U, 1, H_1, R_1, E_1, E_2, le sémaphore est placé sur « Halte » (fig. 11).

2° La station laisse partir le train, le courant passe alors par x, U, 2, F_1, R_1, E_1, E_2, le sémaphore est à la position « Libre ».

3° Le train, au départ de la station, passe sur le rail isolé S*h*. Le circuit de la batterie du

Digitized by Google

train R se ferme par r_1, Sh, H_1, R_1, E_2 et E. Le sémaphore se place sur « Halte ». Comme U prend une position intermédiaire, le courant ne peut passer par U. En même temps que R_1 le commutateur automatique tourne également et ferme le contact x_1 (fig. 12).

4° Le train rencontre le rail de contact Sf. Le sémaphore B est à l'arrêt, le contact x_1 fermé. Le courant passe par r_1, Sf, x_1, H, R_1, E_1. L'induit R et le commutateur automatique se placent sur « Halte » et x est interrompu (fig. 13).

5° Le train rencontre le rail Sh du premier block-système. Le courant passe par r_1, Sh_1, H_2, R_2, E_2, E. Le sémaphore B_1 est placé sur « Halte », A_2 tourne et ferme x_2 (fig. 14).

6° Le train passe sur le rail isolé Sf_1 du premier block-système. Le courant va de Q par r_1, Sf_1, x_2 à la station, passe par F, R, et revient par E_1 à Q.

L'induit R tourne, le sémaphore se place sur « Libre », et le contact x du commutateur A se ferme. La station peut alors, au moyen du commutateur U et de la batterie Q_1, placer le sémaphore B_1 suivant les besoins et laisser partir un second train.

7° Le train rencontre le rail isolé Sh_2 du deuxième block-système. Le circuit se ferme par r_1, Sh_2, H_2, R_3, E_4 et E. Le sémaphore B_2 se place sur « Halte », les commutateurs A_4 — A_5 tournent et ferment les contacts inférieurs x_3, x_4, x_5 (fig. 16).

8° Le train passe sur le rail isolé Sf_2 du deuxième block-système. Le courant suit le chemin Q, r_1, Sf_2, x_3, F_2, R_2, E_3 du premier block-système. Le sémaphore B_1 se place sur « Libre » et interrompt le contact x_2.

9° La station d'arrivée place le sémaphore d'entrée B_2 sur « Libre » au moyen du commutateur U_1 qui est alors en 2. Le circuit (fig. 17) de la batterie Q_2 se ferme par U_2, 2, x_6, F_3, R_2, E_4 et E_5, les commutateurs automatiques tournent, de telle sorte que les contacts supérieurs sont fermés, R_4 tourne et indique à la station que B_2 est sur « Libre ».

10° La station d'arrivée place le sémaphore B_2 sur « Halte », avec le commutateur U_1 dans la position 1. Les commutateurs automatiques A_2 — A_5 ferment les contacts inférieurs x_2, x_5, x_6. R_4 se place sur « Halte » et indique à la station que le sémaphore B_2 est sur « Halte ».

Bien d'autres signaux pourraient encore être actionnés de la même manière, en plaçant toutefois une résistance dans le circuit, dans le cas où l'énergie demandée est faible.

Pratiquement, les essais faits sur une installation semblable ont donné toute satisfaction et pleinement confirmé les espérances de l'inventeur. P. Diény.

ÉLECTROCHIMIE

Ozoneur Dan Martini. Brevet anglais n° 14714, déposé le 4 juillet 1898, accepté le 4 octobre 1899, 12 figures.

Cet ozoneur se compose d'une série de conduits

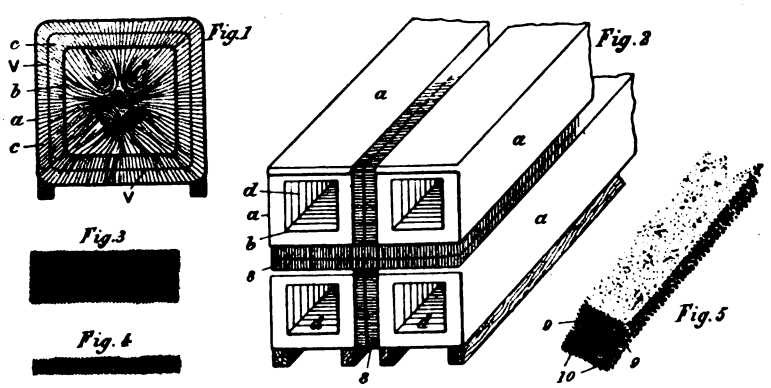


Fig. 1 à 5. — Ozoneur Dan Martini.

prismatiques en verre a (fig. 1 et 2) de section carrée, disposés les uns à côté des autres et à l'intérieur desquels sont placés d'autres conduits de même forme b. Les conduits extérieurs sont séparés les uns des autres par des tapis métalliques obtenus en insérant entre les mailles de toiles mé-

Digitized by Google

talliques ordinaires et perpendiculairement aux plans de ces toiles de nombreux petits fils (fig. 3 et 4). Des tapis métalliques, dont les toiles métalliques qui en forment l'âme sont indiquées par le trait V, sont placés dans l'espace *c* séparant les deux conduits et maintiennent ceux-ci en place. Enfin dans l'intérieur *d* des conduits *b* sont enfoncés des « hérissons » métalliques obtenus en fixant perpendiculairement à quatre âmes métalliques 8 des fils plus ou moins longs 9 (fig. 5). Les tapis métalliques externes et ces hérissons sont reliés à un même pôle d'une machine à haute tension ; les tapis métalliques V sont reliés à l'autre pôle. Les extrémités des conduits aboutissent dans deux grandes caisses fermées ; l'une de ces caisses contient un aspirateur d'air qui force l'air à passer à travers les fils métalliques des électrodes et porte une ouverture par laquelle l'air ozoné est refoulé ; l'autre caisse est munie d'une ouverture livrant passage à l'air à ozoner préalablement filtré sur une couche de coton pour arrêter les poussières.

L'emploi de tapis et de hérissons métalliques comme électrodes présente, suivant l'inventeur, l'avantage d'assurer une grande surface de contact entre les électrodes et le diélectrique tout en présentant une élasticité assez grande pour permettre les dilatations du diélectrique sous l'influence de la chaleur dégagée pendant le fonctionnement de l'appareil.

Ozoneur C.-G. Armstrong et W.-D. Neel. Brevet américain, n° 642 663, déposé le 12 mars 1898, publié le 6 février 1900.

L'appareil est constitué par une caisse hermétiquement close, divisée en trois compartiments par deux cloisons verticales servant de supports à de nombreux tubes de verre s'étendant horizontalement dans le compartiment médian, beaucoup plus grand que les compartiments latéraux. Dans chaque tube se trouve un conducteur et ces conducteurs forment deux séries, ceux d'une même série étant soudés à une plaque métallique disposée le long d'une des cloisons et reliée à un pôle d'un appareil générateur de courant à haut potentiel. Les tubes renfermant des conducteurs de polarités opposées sont alternés. Le gaz à ozoner arrivant dans un des compartiments latéraux, passe ensuite dans le compartiment central par des trous percés à travers la cloison correspondante et disposés de manière à répartir aussi uniformément que possible le courant gazeux ; l'ozone dilué formé dans le compartiment central passe ensuite dans l'autre compartiment latéral où il est puisé par un aspirateur. Les extrémités des tubes de verre sont fermées par un mastic isolant et les plaques servant à relier entre elles les électrodes de même polarité sont recouvertes de ce même mastic afin de mettre les pièces métalliques de l'appareil à l'abri de l'action oxydante du gaz chargé d'ozone.

Anodes en charbon I.-L. Roberts. Brevet anglais n° 24 230, déposé le 5 décembre 1899, accepté le 6 janvier 1900.

Généralement on confectionne les anodes en agglomérant des fragments de charbon, soit par mélange avec un hydrocarbure pâteux et calcination, soit au moyen de résine fondue. L'inventeur préconise le procédé suivant qui donne des anodes plus robustes et plus économiques.

Le charbon (de préférence l'anthracite calciné) est réduit en poudre fine et mélangé en proportion convenable avec du verre finement pulvérisé, puis le mélange est versé dans des récipients en tôle de fer mince, ayant la forme de l'anode que l'on veut obtenir, et ces caisses sont chauffées à une haute température, dans un four électrique, par exemple. Quand le verre est fondu, on place le récipient dans un moule de mêmes dimensions formé de cinq plaques épaisses de fer, préalablement chauffées au rouge, puis on dispose ce moule dans une caisse à parois épaisses ayant pour but de maintenir les plaques du moule ; une couche d'amiante est interposée entre ces plaques chaudes et les parois froides de la caisse extérieure. Le tout est porté sur un plateau et l'on comprime fortement le mélange de charbon et de verre fondu avec une plaque, portée au rouge et pressée par une presse hydraulique, de manière à amener au contact les particules de charbon et à chasser l'excès de verre fondu. On laisse ensuite refroidir et on enlève l'enveloppe de tôle qui entoure l'anode soit en l'arrachant après l'avoir fendue, soit en la dissolvant dans un acide.

La conductibilité de ces anodes est, paraît-il, très satisfaisante ; toutefois l'inventeur recommande d'enlever, par frottement sur une meule d'émeri, ou par traitement par une solution chaude de soude caustique, la couche de verre qui s'est formée sur les faces de l'anode.

Digitized by Google

Électrolyseur Solvay à cathode mercurielle pour l'électrolyse continue des sels alcalins. Brevet allemand nº 104 900.

A une faible hauteur au-dessus du fond de l'appareil se trouve une cloison C presque horizontale divisant la cuve en deux compartiments ne communiquant que par une ouverture rectangulaire de faible largeur s'étendant le long

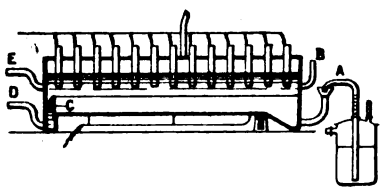


Fig. 1. — Electrolyseur Solvay à cathode de mercure.

d'une paroi verticale de la cuve entre cette paroi et la cloison dont il vient d'être question. L'électrolyte arrive dans le compartiment inférieur par le tube A et s'écoule par le tube E. Le mercure est amené par B, se répand sur la cloison C et l'amalgame formé par l'électrolyse tombe dans une rigole profonde et s'écoule ensuite par D.

Electrolyseur Chalandre, Colas et Gérard pour alcalis et chlore. Brevet anglais nº 3 648, déposé le 18 février 1899, accepté le 23 décembre 1899 ; 9 figures.

Dans l'électrolyse des solutions aqueuses il y a souvent décomposition de l'eau ; dans le cas de solutions de chlorures alcalins l'oxygène provenant de cette décomposition donne avec le chlore des composés oxygénés qui, se combinant avec l'alcali formé dans la solution, ont pour résultat une diminution du rendement en chlore et en alcali. Pour éviter la formation de ces produits secondaires, les inventeurs font arriver dans la solution anodique de l'acide chlorhydrique obtenu par la combinaison d'une partie de l'hydrogène et d'une partie du chlore produits par l'électrolyse.

Les figures 1 et 2 donnent une élévation longitudinale et une élévation latérale d'un dispositif préconisé pour atteindre ce but. L'hydrogène qui s'échappe des compartiments cathodiques est recueilli dans un collecteur *b*. Un tuyau *g* muni d'un robinet de réglage conduit une partie de cet hydrogène à un brûleur *j* enfermé dans un cylindre en verre épais *k*, fermé par des plaques *l* que maintiennent des tirants *m*. A la partie supérieure du cylindre aboutit un tuyau *o* branché sur la conduite *p* du chlore. L'hydrogène s'enflamme et brûle dans le chlore en

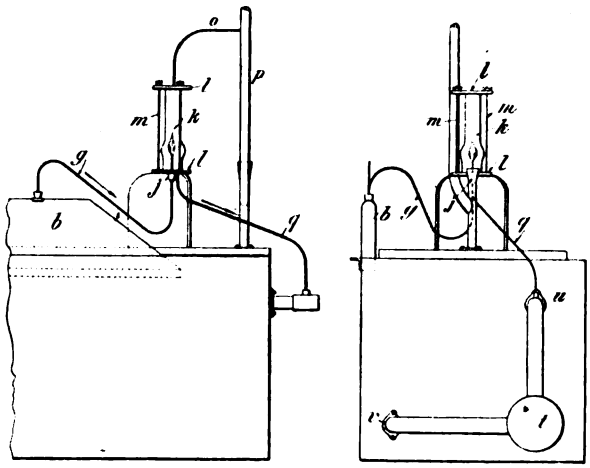


Fig. 1 et 2. — Elevat'on longitudinale et transversale d'un électrolyseur Chalandre, Colas et Gérard.

donnant de l'acide chlorhydrique qu'un tuyau *q* conduit en *u* dans la solution anodique ; celle-ci est mise en circulation par une pompe centrifuge *t* qui aspire la solution en *u* et la refoule en *v* au bas de l'électrolyseur.

Electrolyseur T.-J. Holland et A.-P. Laurie pour alcalis et chlore Brevet anglais nº 5 199, déposé le 28 août 1899, accepté le 30 septembre 1899.

Cet électrolyseur est constitué par une cuve A (fig. 1 et 2) de préférence en fer, divisée en plusieurs compartiments par des cloisons transversales *a* en fer ; dans ces compartiments sont placés des récipients poreux B hermétiquement fermés. Les couvercles de ces récipients supportent les anodes *b*, en charbon, reliées les unes aux autres et au conducteur positif C de l'installation par les barres métalliques *c*. Le conducteur négatif est relié à la cuve A et aux cloisons transversales, ou à ces dernières seulement si la cuve est en matériaux mauvais conducteurs.

Aux couvercles des récipients B sont fixés des paniers tubulaires F percés de trous à leur partie inférieure et un tube de dégagement *g* relié à une conduite G.

Pour faire fonctionner l'appareil on commence par remplir la cuve extérieure et les

Digitized by Google

récipents poreux de la solution saline à un degré de concentration convenable. On ferme les récipients, on lute le couvercle, on remplit de sel les paniers F et on fait passer le courant. Le chlore se dégage par les tubes g, et de la soude se forme en dehors des récipients poreux. Quand la solution de soude est suffisamment concentrée on l'évacue par le robinet E. La con-

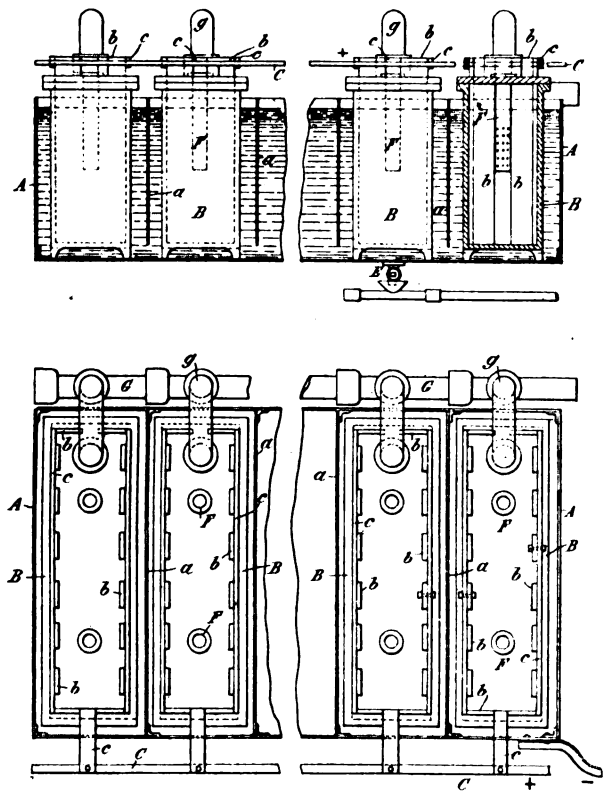


Fig. 1 et 2. — Coupe verticale et vue en plan de l'électrolyseur Holland et Laurie.

duite de l'appareil ne demande d'autre soin que de maintenir toujours du sel dans les paniers F ; les couvercles des récipients ne sont enlevés qu'à de longs intervalles.

Dans le modèle que représentent les figures les cloisons transversales a s'arrêtent toutes à une certaine distance du fond de la cuve A de manière à permettre une libre circulation de l'électrolyte dans la partie inférieure de la cuve. Dans un autre modèle les cloisons de rang impair sont encore disposées de cette façon, tandis que les cloisons de rang pair partent du fond et s'arrêtent à quelque distance au-dessous du niveau de l'électrolyte ; de cette manière l'électrolyte est forcé d'effectuer une série de zigzags ascendants et descendants avant de pouvoir s'échapper de la cuve par un ajutage fixé contre la paroi extérieure du dernier compartiment.

La grandeur des récipients poreux est telle qu'il ne reste qu'un assez faible intervalle entre leurs parois et les cloisons transversales ; dans ces conditions la quantité d'électrolyte traversée par le courant est petite et elle se trouve rapidement électrolysée. Les distances entre les anodes, les parois poreuses et les cathodes sont d'ailleurs établies de manière à n'avoir entre les électrodes qu'une différence de potentiel aussi faible que possible et par conséquent un rendement élevé.

Outre ce grand rendement l'inventeur revendique en faveur de cet appareil une grande facilité de construction, un prix de revient peu élevé et une surveillance peu onéreuse.

Electrolyseur Michel, Wilhelm et Richard pour alcalis et chlore. Brevet anglais n° 11930, déposé le 8 juin 1899, accepté le 11 novembre 1899.

Cet électrolyseur, dont le but est d'éviter que le chlore ne réagisse sur l'alcali, se compose d'une cuve o (fig. 1) séparée en deux compartiments m et n par une cloison b plongeant dans du mercure contenu dans la cuvette r ; le compartiment m contient l'anode a, l'autre compartiment n la cathode c. Entre les deux électrodes et entourant la cloison b se trouve une toile métallique sans fin d, entraînée par le rouleau s et guidée par les rouleaux s_1, s_2, ... s_5 ; cette toile métallique sert d'électrode intermédiaire. Un support l en caoutchouc durci maintient une bande de caoutchouc souple l' appliquée contre cette toile pour empêcher le mélange des gaz produits dans les deux compartiments.

Le fonctionnement de l'appareil est le suivant. Le chlore produit sur l'anode, se dégage par l'ouverture e tandis que le sodium (ou le potassium) forme un amalgame avec la couche de mercure entraînée par la toile. Cet amalgame se trouve entraîné dans le compartiment cathodique où il est décomposé par l'eau en donnant de l'hydrogène qui se dégage par f, de la soude qui se dissout et du mercure qui tombe dans le récipient r.

La solution de chlorure arrive dans l'appareil par le tuyau 1 ; de l'eau pure par le tuyau 2 ; par

Digitized by Google

le tuyau 3 s'écoule la solution électrolysée tandis que par le tuyau 4 s'écoule la solution alca-

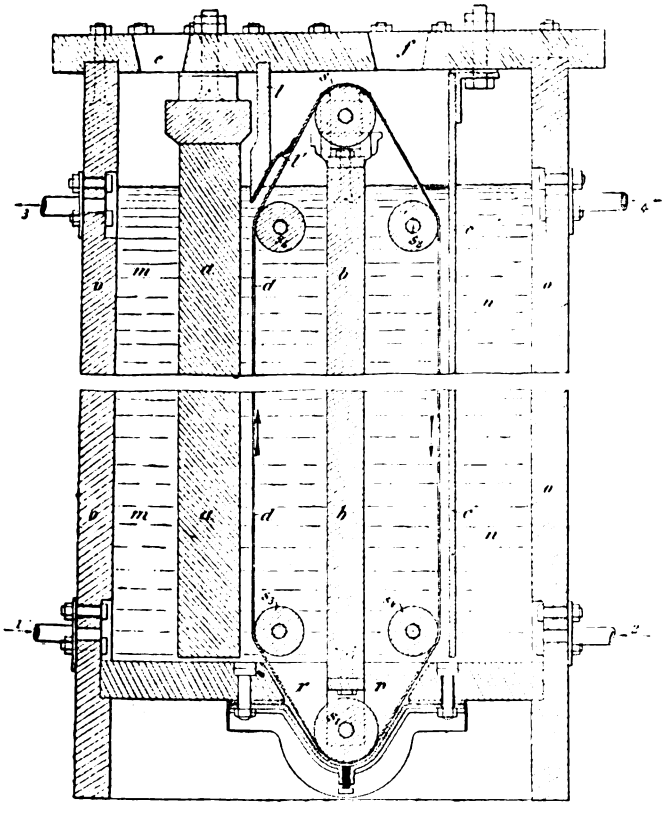


Fig. 1. — Electrolyseur Michel, Wilhem et Richard.

line. Lorsque l'on emploie plusieurs électrolyseurs on y fait circuler les solutions en reliant les tubulures 1 et 2 de l'un aux tubulures 3 et 4 du précédent.

Electrolyseur F. Stœrmer pour alcalis et chlore. Brevet anglais n° 23040, déposé le 18 novembre 1899, accepté le 23 décembre 1899.

Lorsque, dans l'électrolyse des chlorures en vue de la production des alcalis et du chlore, on emploie des courants intenses le chlore se dégage sur l'anode en nombreuses bulles de faible diamètre qui émulsionnent le liquide et lui communiquent une violente agitation pouvant entraîner ces bulles dans le voisinage de la cathode et diminuer considérablement le rendement. Dans le but d'éviter cet inconvénient l'inventeur dispose dans l'électrolyseur des cloisons qui forcent les petites bulles à se rassembler et à former de plus grosses bulles qui se dégagent ensuite régulièrement.

La figure ci-jointe représente un électrolyseur à cathode de mercure muni d'un dispositif de ce genre. A est l'anode, B la cathode, C, C′ des caisses renversées dont les couvercles sont per-

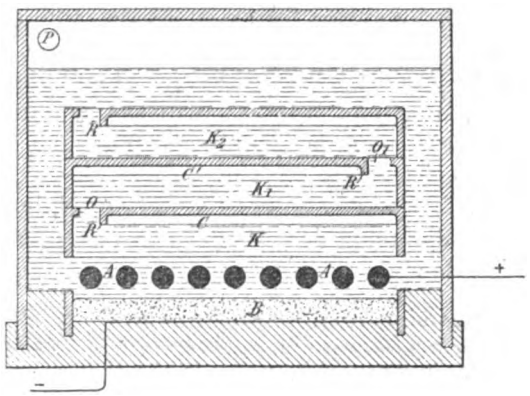


Fig. 1. — Electrolyseur F. Störmer.

cés d'orifices O O_1 munis de rebords R. Les bulles gazeuzes se rassemblent contre ces couvercles, se soudent entre elles et s'échappent en grosses bulles par les orifices.

Bains d'électrodéposition cyanurés, du Dr Courant. Brevet anglais n° 5468, déposé le 13 mars 1899, accepté le 13 janvier 1900.

L'emploi du cyanure de potassium pour la confection des bains d'électrodéposition de l'or, de l'argent, du cuivre, etc., donne lieu à des dangers d'empoisonnement ; cet inconvénient a conduit à rechercher s'il ne serait pas possible de trouver des sels doubles non toxiques que l'on n'aurait plus qu'à faire dissoudre dans l'eau pour la préparation des bains. Dans cette vue on a proposé pour le cuivrage et le zingage des cyanures doubles de potassium et de cuivre ou de potassium et de zinc, mais ces sels doubles n'ont pu jusqu'ici être utilisés à cause de leur grande instabilité et de leur extraordinaire déliquescence.

L'auteur propose l'emploi de sels triples contenant du sulfite de potassium, du cyanure de potassium et du cyanure du métal qu'il s'agit de déposer. Pour obtenir le sel de cuivre, on dissout l'oxyde cuivreux pur dans du cyanure de potassium ; on obtient le sel $Cu^2 Cy^2$, 4 K Cy, $K^2 O$ dans la solution duquel on fait passer une quantité d'anhydride sulfureux suffisante pour saturer l'oxyde de potassium ; on a alors le sel triple $Cu^2 Cy^2$, 4 KCy, $K^2 SO^3$. On peut préparer de la même manière les sels de zinc $ZnCy^2$,

Digitized by Google

4KCy, K^2SO^3, celui d'argent Ag^2Cy^2, 2KCy, K^2SO^3, celui d'or Au^2Cy^2, 2KCy, KSO^3 et celui de nickel $NiCy^2$, 2KCy, K^2SO^3.

Les bains préparés au moyen de ces sels ont non seulement l'avantage d'être énormément moins toxiques que les solutions de cyanure de potassium, mais encore celui d'avoir une très grande conductibilité électrique. Leur régénération, lorsqu'ils ont été appauvris par l'usage, exige seulement la dissolution d'une certaine quantité de sel triple.

Un mélange du sel de cuivre et du sel de zinc permet d'obtenir des alliages très variés de cuivre et de zinc.

Procédé J.-F.-L. Moeller et E.-A.-G. Street pour la préparation électrolytique du chrome. Brevet anglais n° 18 743, déposé le 30 mai 1899, accepté le 5 août 1899.

Parmi les nombreuses difficultés que présente l'obtention du chrome par voie électrolytique, il en est deux que les inventeurs ont tout particulièrement cherché à surmonter : la désagrégation des anodes et l'encombrement résultant de l'énorme quantité de sous-produits résultant de l'électrolyse.

Les anodes en charbon ne donnent en effet que de mauvais résultats dans l'électrolyse des sels de chrome ou des chromates : elles sont rapidement mises hors d'usage par suite de la formation d'acide chromique. Les anodes en platine n'ont pas cet inconvénient, mais leur emploi entraînerait l'immobilisation d'un capital fort important dans le cas d'une installation industrielle. Pour avoir des anodes à la fois économiques et durables les inventeurs prennent des lames de plomb, le bain électrolytique étant du sulfate de chrome ou du sulfate double de chrome et de potassium : le plomb se peroxyde et la plaque peroxydée peut durer longtemps ; si la cuve d'électrolyse contient une cloison poreuse il convient de veiller à ce que la concentration de l'acide dans le compartiment cathodique ne s'élève pas trop au-dessus de celle que la pratique des accumulateurs a montré pouvoir être employée sans destruction des anodes ; s'il n'y a pas de cloison poreuse le degré d'acidité doit être maintenu assez bas pour qu'il y ait dépôt métallique sur les cathodes et dans ce cas il n'y a pas de précaution spéciale à prendre pour éviter la destruction des anodes.

Pour montrer les difficultés qui peuvent résulter des sous-produits de l'électrolyse et faire ressortir les avantages de leur procédé, les inventeurs citent quelques chiffres basés sur des essais. Dans ces essais ils employaient des bains cathodiques formés de parties égales en poids de sulfate double de chrome et de sodium (1), de sulfate de sodium et d'eau acidulée avec 5 p. 100 en poids d'acide sulfurique à 66°B ; ils mettaient dans le compartiment anodique de l'eau acidulée, dans la proportion précédente, par de l'acide sulfurique. Les cathodes étaient des tubes cylindriques en cuivre ou en laiton ; les anodes étaient en plomb. La température du bain étant maintenue à 70°C et la densité de courant étant d'environ 40 amp : dm^2, ils obtenaient ainsi un dépôt de chrome d'environ 0,20 gr par ampère-heure. Peu à peu le liquide du compartiment anodique s'enrichissait en acide sulfurique en même temps que s'accusait la teinte caractéristique des solutions de sels d'acide chromique, acide qui résulte de l'oxydation à l'anode du sulfate de chrome traversant par endosmose la cloison poreuse de la cuve d'électrolyse. L'analyse du liquide anodique après 24 heures d'expérience montra que, pour une production de 23,5 kg de chrome, il se forme 0,562 kg d'acide chromique et qu'il y a exosmose de 0,963 kg de sulfate de sodium ; ces chiffres peuvent d'ailleurs varier considérablement avec le degré de porosité de la cloison.

Si l'on ne considère que l'acide sulfurique libéré à l'anode, la formule du sulfate de chrome $Cr^2(SO^4)^3 + n\,H^2O$ montre que pour 104 gr de chrome déposé il y a 294 gr d'acide mis en liberté. Par suite une usine produisant 1 tonne de chrome en 24 heures produirait pendant le même temps 3 tonnes d'acide sulfurique H^2SO^4 ; en admettant que la concentration de l'acide soit de 10 p. 100, il y aurait donc 30 tonnes de liquide acide sans aucun emploi à moins d'avoir recours à une concentration, nécessairement coûteuse, étant donnée la dilution du liquide, et à une purification assez difficile pour le débarrasser de l'acide chromique et de sulfate de sodium.

Le procédé de MM. Moeller et Street élimine cet inconvénient en faisant rentrer dans le cycle

(1) L'alun de chrome et de potassium peut être également employé, mais il a sur l'alun de chrome et de sodium le désavantage d'être moins soluble.

Digitized by Google

des opérations électrolytiques le liquide anodique. Pour cela, l'acide chromique qu'il contient est transformé en sulfate de chrome au moyen d'un courant gazeux d'anhydride sulfureux ; l'excès de gaz est ensuite chassé par l'ébullition et le liquide est concentré jusqu'à marquer 30°B. On y ajoute alors du bichromate de sodium jusqu'à ce qu'il contienne une molécule d'anhydride chromique CrO^3 pour une molécule d'acide sulfurique libre et on fait tomber la dissolution peu à peu sur du soufre en fusion, à 130°C, chauffé dans un vase en plomb ; il se forme du sulfate de chrome $Cr^2(SO^4)^3$, par suite de la réduction du bichromate et combinaison de l'oxyde de chrome avec l'acide sulfurique libre existant dans la liqueur et avec l'acide provenant de l'oxydation du soufre. Le sulfate de sodium que contenait la liqueur primitive et celui qui résulte de l'action du soufre sur le bichromate de sodium dans la précédente opération forme avec le sulfate de chrome de l'alun de chrome et de sodium que l'on filtre pour le séparer du soufre en excès et qui retourne à l'électrolyseur. Il est presque évident que l'on peut snpprimer la première opération, la réduction de l'acide chromique par l'anhydride sulfureux, pourvu que l'on ait soin de titrer cet acide et de diminuer la quantité de bichromate de sodinm ajoutée à la liqueur dans une proportion convenable indiquée par ce titrage.

Mais la régénération du bain électrolytique au moyen du liquide anodique ne suffit pas pour rendre le procédé continu. Il faut encore obvier à l'accumulation du sulfate de sodium dans le compartiment cathodique. Dans ce but les inventeurs entretiennent une circulation continue dans ce compartiment en l'alimentant avec le liquide anodique traité comme il vient d'être dit et en faisant écouler constamment l'excès de liquide. Celui-ci, qui sort à 70°C de l'électrolyseur est refroidi et ce refroidissement amène la cristallisation du sulfate de sodium.

Il est évident que cette opération se trouvera inutile si, au lieu d'alimenter le compartiment cathodique avec de l'alun de chrome et de sodium, on l'alimente avec du sulfate de chrome seul. On peut y parvenir de la manière suivante : on prépare de l'hydrate d'oxyde de chrome en traitant, à l'ébullition, une solution convenablement concentrée de bichromate de sodium par des sulfures alcalins ou alcalino-terreux tenant en dissolution un excès de soufre ; on filtre pour séparer l'oxyde (mélangé de sulfate alcalino-terreux dans le cas où l'on a pris un sulfure alcalino-terreux). Cet oxyde de chrome après avoir été lavé à l'eau chaude, est traité par le liquide acide du compartiment anodique (préalablement débarrassé de son acide chromique par l'anhydride sulfureux) et on obtient une solution de sulfate de chrome. Si cet oxyde se trouvait mélangé de sulfate alcalino-terreux, ce sulfate est réduit par calcination avec le charbon à l'état de sulfure qui rentre dans le cycle des opérations. Si l'on a pris un sulfure alcalin pour la préparation de l'oxyde de chrome, le sulfate correspondant se trouve dans la liqueur provenant de la filtration de l'oxyde ; en évaporant cette liqueur à sec et calcinant le résidu avec du charbon on régénère le sulfure alcalin. On voit donc que le procédé d'utilisation du liquide anodique et d'alimentation du bain cathodique est cyclique comme celui décrit précédemment.

Dans l'un et l'autre, il convient d'ailleurs de prendre quelques précautions dans la conduite de l'électrolyse. Il peut arriver en effet qu'il ne se produise aucun dépôt sur la cathode ; c'est qu'alors le bain est trop acide ; il faut dans ce cas le ramener au degré d'acidité convenable soit par addition de carbonate de sodium ou d'oxyde de chrome, soit encore par le passage même du courant. Il peut aussi arriver que le dépôt au lieu d'être formé de chrome métallique soit formé d'oxyde de chrome ; ceci indique que le bain n'est pas suffisamment acide et il faut y ajouter graduellement de l'acide sulfurique.

La conduite de l'électrolyse est encore plus difficile lorsque, au lieu d'employer un électrolyseur à diaphragme poreux comme il a été supposé jusqu'ici, on opère avec un appareil sans diaphragme. L'accroissement de la teneur du bain en acide sulfurique doit être combattu par des additions d'oxyde de chrome hydraté préparé comme il a été dit. Pour détruire l'acide chromique qui se forme à l'anode on peut ajouter au liquide un sulfure alcalin, un sulfure alcalino-terreux ou du sulfure de chrome ; l'emploi du sulfure alcalin a l'inconvénient de donner un sulfate soluble qui s'accumule dans le bain ; les sulfures alcalino-terreux donnent des sulfates insolubles qu'il faut retirer ; l'emploi du sulfure de chrome présente au contraire l'avantage de

Digitized by Google

ne pas introduire de sels étrangers dans le bain.

En terminant, les inventeurs décrivent un dispositif indiquant automatiquement si le degré d'acidité du bain est convenable pour l'obtention d'un bon dépôt. Ce dispositif est basé sur le fait mis en évidence par Bunsen dans son remarquable travail sur l'électrolyse des solutions des sels de chrome (1), que dans un même bain la nature et la rapidité du dépôt dépendent de la densité du courant : ainsi avec une même intensité de courant les inventeurs ont obtenu un épais dépôt sur une cathode cylindrique de 15 mm de diamètre, un mince dépôt sur une cathode de 18 mm et n'en ont pas obtenu sur une cathode de 20 mm. En mettant en parallèle avec la cathode principale d'un bain d'électrolyse, une seconde cathode, on pourra donc, en donnant à celle-ci des dimensions convenables, faire en sorte qu'elle ne reçoive qu'un dépôt de très faible épaisseur tant que le bain est dans les conditions voulues pour donner un bon dépôt sur la première, que ce léger dépôt se dissolve dès que le bain devient trop acide et qu'au contraire il augmente quand le bain n'est plus assez acide. Par suite en attachant la cathode auxiliaire au fléau d'une balance, ce fléau s'inclinera dans l'un ou l'autre sens suivant que le bain deviendra acide ou neutre et on pourra utiliser ce mouvement pour fermer les circuits de deux sonneries dont le fonctionnement indiquera la modification subie par le bain.

Procédé Street pour la préparation électrolytique de l'oxyde de chrome. *L'Electrochimie*, t. VI, p. 24, février 1900.

Ce procédé consiste à électrolyser une solution de chromate ou de bichromate de sodium portée à une température de 70-80° C ; la cathode est en mercure. Dans ces conditions on constate immédiatement la formation d'oxyde de chrome qui reste en suspension dans l'électrolyte ; la réaction marche très bien et rapidement, favorisée qu'elle est par la nature de la cathode et par la circulation du liquide provenant du fait de la température à laquelle il est soumis et du fait des bulles de gaz qui se dégagent de la surface de la cathode. On peut parvenir à précipiter tout le chrome à l'état d'oxyde ; la coloration primitive de la solution disparaît peu à peu complètement. La séparation de l'oxyde de chrome d'avec la solution de soude se fait par décantation ; l'oxyde est ensuite lavé. L'alimentation du bain peut se faire avec du bichromate qui, avec la soude provenant de l'électrolyse, donne du chromate. On peut aussi faire circuler successivement dans une série d'électrolyseurs la solution de bichromate.

(1) *Poggendorff's Annalen*, t. XCI, p. 619, 1854.

Procédé S.-B. Christy pour l'électrodéposition de l'or et l'argent des solutions cyanurées étendues. Brevet américain, n° 643 096, déposé le 9 février 1898, publié le 6 février 1900.

La teneur en métaux précieux des solutions de cyanure de potassium servant à extraire ces métaux de leurs minerais étant extrêmement faible, leur électrodéposition présente de nombreuses difficultés, que l'inventeur espère surmonter par l'emploi du procédé suivant : des cathodes mobiles, nombreuses et de très grande surface, reçoivent l'or et l'argent des solutions étendues ; ces cathodes sont ensuite disposées comme anodes dans des bacs contenant une solution de cyanure de potassium de moindre volume que la solution primitive ; les métaux précieux se dissolvent et sont transportés par le courant sur de nouvelles cathodes ayant une surface totale moindre que les précédentes.

Procédé centrifuge Cowper-Coles pour la fabrication électrolytique des tubes de cuivre. Communication faite à la séance du 25 janvier 1900, de l'Institution of Electrical Engineer, de Londres, par **Sherard Cowper-Coles**.

1. Dans le but de montrer le rapide développement et l'importance actuelle de l'industrie de l'affinage électrolytique du cuivre, l'auteur commence par la citation de quelques chiffres. Il y a une vingtaine d'années la production du monde entier, en cuivre électrolytique, ne dépassait pas 10 à 15 tonnes par semaine ; vers 1882 elle montait à environ 60 tonnes à la suite de la mise en exploitation des usines Swansea ; de 1888 à 1890 elle atteignait 280 à 300 tonnes ; depuis elle n'a cessé d'augmenter, des usines très importantes ayant été créées en Amérique, en Angleterre, en Allemagne et même au Japon, et elle est actuellement d'au moins 500 tonnes par jour, soit 180 000 tonnes par an ; en outre,

Digitized by Google

il est produit annuellement par le traitement des boues d'électrolyse 567 tonnes d'argent et près de 3 tonnes d'or. Aux cours moyens de ces métaux, la production annuelle correspond à 225 000 000 fr. pour le cuivre, 62 500 000 fr. pour l'argent et à 10 000 000 fr. pour l'or.

Ce développement rapide doit être attribué surtout à divers perfectionnements apportés dans les procédés de traitement, perfectionnements qui ont permis d'augmenter considérablement la densité du courant d'électrolyse et par suite d'augmenter la quantité de cuivre fournie par une même installation. Au début la densité de courant était de 0,2 à 0,4 amp.:dm², la quantité de cuivre contenue dans les bacs d'électrolyse s'élevait à 76 et même à 100 p. 100 de la production journalière, et le stock de cuivre nécessaire au fonctionnement régulier d'une usine atteignait 8 à 10 p. 100 de la production annuelle; aujourd'hui, on emploie des densités de courant de 1,5 à 2 amp.:dm², la quantité de cuivre contenue dans les bains n'est plus que le cinquième de la production journalière, et le stock ne dépasse pas 4 p. 100 de la production annuelle. Parmi les diverses raisons qui ont permis l'augmentation de la densité de courant, l'auteur signale : 1° une circulation plus active des solutions; 2° une plus grande pureté de l'électrolyte; 3° les soins particuliers apportés pour maintenir dans de bonnes conditions la composition chimique de l'électrolyte; 4° enfin une meilleure disposition de l'électrolyseur.

Mais l'accroissement de la densité de courant n'est pas la seule cause du développement de l'industrie électrolytique du cuivre; les efforts faits pour améliorer les qualités physiques et mécaniques des dépôts électrolytiques ont également eu une influence sur ce développement. Cette remarque amène le conférencier à décrire rapidement les procédés employés dans ce but.

2. Dans cette partie de sa communication, M. Cowper-Coles rappelle que le premier procédé préconisé pour donner de la cohésion au métal dans la fabrication des tubes en cuivre électrolytique consistait à frotter la surface du dépôt, au fur et à mesure de sa production, avec des brunissoirs en agate; ce procédé donna d'excellents résultats, toutefois il avait l'inconvénient d'exiger un réglage délicat de la pression sur les brunissoirs pour qu'il ne se produise pas d'exfoliations. Elmore perfectionna ce procédé et obtint par électrolyse des tubes ne le cédant en rien aux tubes obtenus par étirage en faisant glisser les brunissoirs rapidement d'un bout à l'autre des tubes et donnant en même temps un lent mouvement de rotation aux tubes; il put ainsi employer une densité de courant de 1,7 amp:dm²; le cuivre obtenu se rompt sous une traction de 41,5 kg par mm² avec un allongement de 16,5 p. 100, la limite d'élasticité étant atteinte sous une traction de 36 kg par mm².

Von Hübl parvint d'ailleurs, par simple électrodéposition sans emploi de brunissoirs, à obtenir un cuivre supportant une traction de 37 kg par mm², chiffre bien supérieur à celui qui correspond à la rupture du cuivre fondu commercial qui n'est que 13 kg:mm².

Un autre procédé de fabrication, aujourd'hui employé sur une grande échelle, ne comporte pas non plus l'emploi de brunissoirs en agate : il consiste à empêcher le développement d'aspérités trop prononcées à la surface du dépôt en recouvrant celles-ci dès qu'elles se manifestent, d'une légère couche d'une matière isolante; cette matière est composée de substances albumineuses ou gélatineuses bien exemptes de matières grasses et rendues imputrescibles soit par un traitement au bichromate, soit par addition d'aldéhyde formique (10 à 40 p. 100), l'aldéhyde en excès étant enlevé par un lavage à l'eau; des frottoirs en peau de mouton imprégnés de cette substance sont disposés contre le dépôt électrolytique; le bain électrolytique peut être chaud ou froid; la densité de courant est de 4 à 4,5 amp:dm², et la différence de potentiel requise est de 1,6 volt par bain; les tubes obtenus ont 4 m de long, 40 cm de diamètre et 3 mm d'épaisseur; ils sont fendus suivant une génératrice et développés en plaques.

D'autres procédés consistent à projeter l'électrolyte sur la cathode sous forte pression. Craydon Poore a fait breveter un procédé de ce genre pour l'obtention de plaques; la cathode est horizontale et l'électrolyte est projeté en jets sur sa surface.

3. La troisième partie de la communication est consacrée à la description d'un nouveau procédé imaginé par l'auteur, actuellement employé industriellement et qui permet d'obtenir des tubes de 30 cm de diamètre avec des densités de courant d'environ 20 amp:dm² et une différence

Digitized by Google

de potentiel de 0,5 à 0,7 volt entre les électrodes. Ce procédé n'utilise ni frottoir, ni brunissoirs; il est caractérisé par un mouvement de rotation rapide donné à la cathode. Suivant l'inventeur il a non seulement l'avantage d'être rapide et économique par suite de la grande densité de courant et de la faible différence de potentiel qu'il permet d'utiliser, mais encore celui de réaliser toutes les conditions requises pour l'obtention d'un dépôt compact et uni. Le frottement considérable du dépôt contre l'électrolyte assure la compacité; la force centrifuge assure le dégagement rapide des bulles d'hydrogène qui, lorsqu'elles restent sur la cathode, empêchent l'uniformité du dépôt; cette force centrifuge éloigne de la cathode les particules solides en suspension dans le bain et qui, d'après J.-W. Swan, sont la cause principale de la formation des nodules; enfin le brassage énergique de l'électrolyte évite que des différences de concentration ne prennent naissance et ne donnent lieu à des variations de courant en certains points, variations auxquelles, suivant G. Gore, est dû le développement rapide des nodules.

Les figures 1 et 2 montrent l'appareil employé. A est une cuve en bois dans laquelle on suspend les anodes en cuivre brut. La cathode est un cylindre B en laiton, supporté par l'arbre C; elle porte à sa partie supérieure un anneau D qui permet de l'enlever facilement hors du bain et une large bague E sur laquelle frottent les balais F du porte-balais G relié au pôle négatif de la source d'électricité; au-dessous d'elle se trouve un plateau H à bords relevés qui empêchent la formation du dépôt sur la région inférieure de la cathode, région où généralement le dépôt présente des nodules et des arborescences. L'électrolyte est injecté dans la cuve, tangentiellement à ses parois, par une pompe ou par l'air sous pression; à sa sortie de l'électrolyseur il traverse un filtre où il abandonne les particules solides en suspension.

Les figures 3 et 4 montrent un dispositif permettant de mettre la cathode en rotation par la partie supérieure.

L'enlèvement des tubes de la cathode s'effectue facilement si l'on a soin de recouvrir celle-ci d'une très légère couche de graisse. Lorsqu'on veut du cuivre en plaque, on fend les tubes, puis on recuit le cuivre et on l'étend. Pour obtenir du cuivre en rubans, on enroule en hélice sur la surface de la cathode un fil en substance isolante, le pas de l'hélice étant égal à la largeur

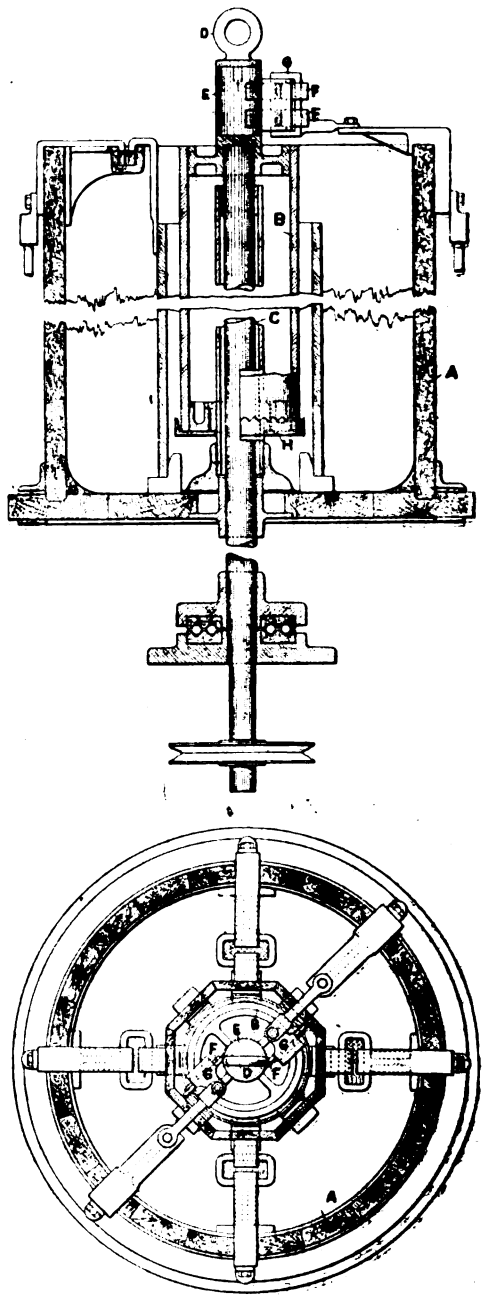


Fig. 1 et 2. — Coupe verticale et vue en plan de l'électrolyseur Cowper-Coles.

du ruban que l'on désire; on coupe ensuite le tube suivant cette hélice et on développe le ruban après recuit du métal.

4. Son procédé étant décrit, M. Cowper-Coles

Digitized by Google

fait connaître l'influence de la vitesse de rotation, de la teneur en acide, etc., sur la nature du dépôt et les conditions de l'expérience.

L'influence de la vitesse de rotation est nettement mise en évidence par la comparaison des

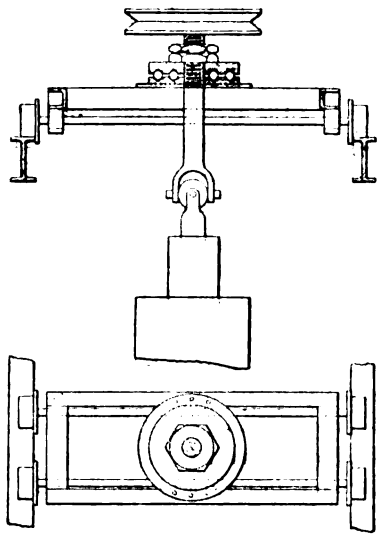


Fig. 3 et 4.

dépôts obtenus dans deux essais, faits l'un avec une vitesse angulaire de 30 t : m, l'autre avec une vitesse angulaire de 1000 t : m, les autres conditions restant les mêmes (densité courant 19 amp : dm², température 71° C, composition du bain : 12 p. 100 Cu SO^4, 24 p. 100 H^2SO^4, 64 p. 100 H^2O). Dans le premier cas le dépôt, très rugueux, ne put être retiré du mandrin, dans le second le dépôt était très uni et put être retiré facilement.

La proportion d'acide libre a une influence très faible sur la proportion de cuivre déposé par rapport au cuivre qui doit théoriquement être déposé, c'est-à-dire sur le rendement du courant, mais au contraire très marquée sur la différence de potentiel requise. Ainsi dans des essais faits avec un électrolyte contenant 32 onces ($32 \times 28{,}35 = 917{,}2$ gr) de sulfate de cuivre par gallon (4,5 l), soit environ 204 gr par litre, et des quantités d'acide libre croissant de 6 onces à 100 onces par gallon, soit de 38 à 630 gr par litre ou encore de 3,03 à 34,24 p. 100 en poids de l'électrolyte, il a été constaté que lorsque la solution est froide, la densité de courant de 11 amp : dm² et la vitesse angulaire d'environ 500 t : m, la différence de potentiel décroît d'abord à mesure que la proportion d'acide augmente, passe par un minimum d'environ 1,8 volt quand cette proportion est d'environ 126 gr par litre, et va ensuite en croissant rapidement. En opérant dans les mêmes conditions sur des électrolytes

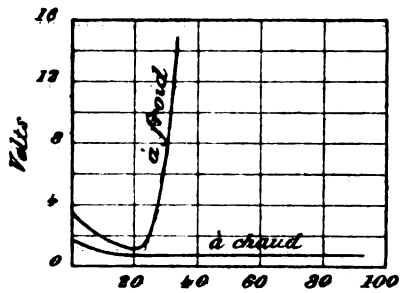


Fig. 5. — Influence de la teneur en acide sur la différence de potentiel.

maintenus à la température de 70° C, on observa des différences de potentiel plus faibles et allant constamment en diminuant quand la teneur en acide augmentait. La figure 5 résume les résultats obtenus, les chiffres de la droite des abscisses indiquant le nombre d'onces par gallon d'acide libre contenu dans le bain.

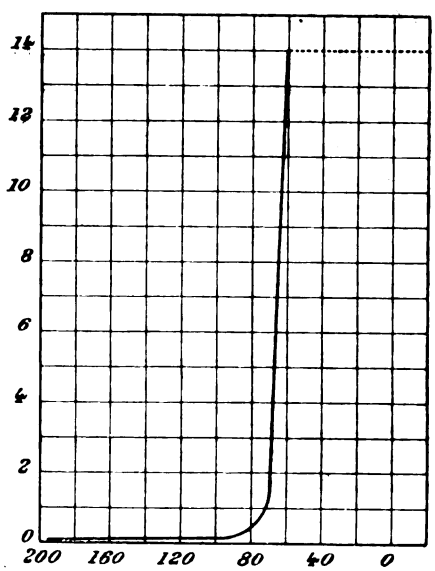


Fig. 6. — Influence de la température sur la résistance d'une solution de sulfate de cuivre.

L'influence de la température, mise en évidence par les expériences précédentes, a été étudiée en prenant une même solution portée successivement à des températures croissant de 15°

Digitized by Google

à 93° C. La différence de potentiel requise diminue de 8 volts à 0,7 volt, tout en donnant un accroissement de la densité de courant. A la température de 65° C, qu'il est facile de maintenir en pratique, la différence de potentiel n'est déjà plus que de 0,75 volt. La figure 6 donne la courbe de la variation avec la température d'une solution contenant 200 gr de sulfate de cuivre et 378 gr d'acide sulfurique par litre d'eau; en ordonnée est portée la résistance exprimée en ohms, en abscisse la température exprimée en degrés Farenheit.

Au point de vue de la nature du dépôt la proportion d'acide libre et la température pourraient avoir une influence considérable, surtout quand on opère avec une grande quantité de courant. Von Hübl a vu, en effet, que la formation d'un dépôt noir pulvérulent qui, d'après ses expériences, est un hydrure de cuivre, est d'autant plus à craindre que la concentration est plus faible dans le voisinage de la cathode. D'autre part Fœrster et Liedel ont constaté, dans des expériences faites à diverses températures, qu'un dépôt pulvérulent rouge-brun se produit d'autant plus facilement que le nombre des ions cuivre dans la solution est plus faible, et la température plus basse. Mais grâce à la circulation active produite par la rotation rapide de la cathode toute diminution de la concentration est évitée dans le procédé Cowper-Coles, et, d'un autre côté, par suite de l'emploi d'un bain chaud dans le but de

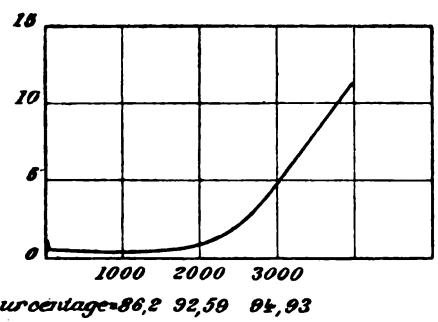


Fig. 7.

diminuer comme on vient de le voir la différence de potentiel, on se trouve dans les meilleures conditions pour l'obtention d'un bon dépôt.

Il y avait aussi à craindre qu'un accroissement trop grand de la proportion d'acide ne donnât lieu à une corrosion trop considérable du cuivre de la cathode. Des expériences faites à 65° C avec une densité de courant de 2,7 amp : dm² sur des bains contenant 63 à 630 gr d'acide libre par litre ont montré que la perte de cuivre par corrosion de la cathode n'est que de 2,5 p. 100 environ.

Dans d'autres expériences on détermina la perte de poids de feuilles de cuivre plongées dans de l'acide sulfurique à divers degrés de concentration et maintenu à 65° C; on trouva que la perte restait très faible jusqu'à une concentration de 95 p. 100; les résultats sont représentés par la figure 7 où la perte de poids exprimée en millième du poids total est portée en ordonnée et la concentration en abscisse.

Quant aux boues provenant de l'attaque de l'anode il a été reconnu par divers expérimentateurs, en particulier par Fœrster et Liedel, que leur masse décroît quand la densité du courant augmente; ainsi à la température de 20° C, un kilogramme d'anode donne 7,4 gr de boues renfermant 60 à 70 p. 100 de cuivre principalement à l'état d'oxyde cuivreux, lorsqu'on emploie une densité de courant de 0,3 amp : dm² et seulement 2,4 gr lorsque la densité de courant est de 4 amp : dm². Il est vrai qu'à la température de 40° C le poids des boues est resté à peu près le même pour les deux densités de courant de 0,3 et 4 amp : dm², mais ce poids n'est encore que de 2,5 gr par kilogramme de cathode. La grande densité de courant employée dans le procédé Cowper-Coles ne peut donc que diminuer la masse des boues et par conséquent rendre leur traitement plus facile (1).

(1) A ce propos l'auteur indique la composition de ces boues et donne les chiffres suivants publiés par E. Koller dans le *Journal of the Chemical Society* qui indiquent la proportion en centièmes des divers éléments contenus dans les boues provenant d'une année de traitement électrolytique de cuivre brut préparé au four à réverbère (colonne I) et de trois mois de traitement de cuivre produit au convertisseur (colonne II); les chiffres entre parenthèses donnent la proportion en centièmes de l'élément contenu dans le cuivre soumis à l'électrolyse.

	I	II
	p. 100	p. 100
Ag	53,894 (0,3064)	55,15 (10,3076)
Au	0,296	0,198
Cu	11,01	13,82
Pb	0,91 (0,0093)	2,07
Bi	3,93 (0,0320)	0,34 (0,0035)
Sb	6,25 (0,0551)	2,44 (0,0510)
As	2,11 (0,0586)	1,09 (0,0180)
Se	0,39 (0,0098)	0,72
Te	1,17	0,89
Fe	—	0,80
SO^4	5,27	10,68
H^2O	2,36	2,60

Digitized by Google

5. Dans la dernière partie de sa communication M. Cowper-Coles indique quelques-unes des propriétés physiques du cuivre non affiné et du cuivre affiné par son procédé. Nous retiendrons seulement les données suivantes : une feuille de cuivre préparée par son procédé ne s'est rompue que sous une traction de 34 kg : mm² et un fil de cuivre étiré et fait avec ce cuivre ne s'est rompu que sous une charge de 44 kg : cm² avant d'être recuit et de 32 kg : mm² après recuit.

Il rappelle ensuite que d'après les travaux de Seldom, la conductivité du cuivre recuit dans le vide ou dans l'hydrogène augmente à mesure que croît la température du recuit, puis il donne le détail d'une estimation du prix du revient du kilowatt-heure dans une usine d'affinage d'une puissance de 2 100 kw fonctionnant 50 semaines par an, et termine par un tableau des dépenses d'exploitation de l'usine d'affinage électrolytique d'Anaconda pendant l'exercice 1897-98. Diverses estimations du prix de revient du kilowatt-heure ayant été données dans ce journal, nous ne croyons pas utile de reproduire celle de M. Cowper-Coles ; il nous suffira de dire qu'elle conduit à un prix de revient d'un peu plus de 4 centimes, l'intérêt et l'amortissement du capital d'établissement n'étant pas comptés. Quant aux dépenses d'exploitation de l'usine d'Anaconda elles atteignent 2 309 962 fr pour une production de 26 634 tonnes de cuivre, soit 86 fr environ par tonne.

6. Cette communication a été suivie d'une discussion dont voici les points les plus importants :

M. Henry Wilde fait observer qu'en 1875 il a fait breveter (B P 4 515) un procédé identique à celui de M. Cowper-Coles et qui a fonctionné pendant plus de 20 ans à Manchester.

M. S.-Z. de Ferranti dit qu'il a vu fonctionner à Paris, il y a 6 ou 7 ans, un procédé analogue. La cathode était horizontale, plongeant à demi dans le bain et tournant avec une vitesse angulaire de 100 t : m. On obtenait ainsi avec de grandes densités de courant un dépôt très uni et très compact ; toutefois le procédé ne fut pas exploité industriellement. Un autre procédé présentait aussi quelque analogie avec celui de M. Cowper-Coles est le procédé imaginé par M. Saunders qui a été quelque temps directeur d'une des usines Elmore. Un fil de cuivre était enroulé en spirale sur un mandrin isolant, immergé aux trois quarts dans le bain et faisant 100 tours par minute ; la densité du courant était très grande. Le fil se recouvrait d'un dépôt d'excellente qualité. On déroulait le fil et on le passait à la filière. Malgré les bons résultats obtenus, ce procédé ne fut pas appliqué parce qu'il ne parut pas devoir donner lieu à une économie notable sur le procédé d'Elmore.

M. G.-L. Addenbrooke fait observer que M. Swan qui, comme M. Cowper-Coles l'a rappelé, a montré l'influence nuisible sur la nature du dépôt des particules solides en suspension dans le bain, a aussi eu l'idée d'éliminer cette influence en faisant tourner rapidement la cathode qui, dans ces essais, était un disque plan.

Le président, M. S.-P. Thompson, après avoir pris connaissance du brevet de M. Wilde, dit que ce dernier est en quelque sorte la contre-partie de celui de M. Cowper-Coles, car M. Wilde préconise l'emploi d'un bain animé d'un mouvement de rotation rapide autour d'une cathode fixe. Il demande à M. Cowper-Coles quelle est la vitesse à partir de laquelle une variation assez importante n'a plus d'influence sensible sur le dépôt.

Répondant à ces diverses observations, M. Cowper-Coles dit qu'il ne regarde pas comme une nouvelle l'idée d'employer une cathode tournante, mais qu'il ne croit pas que les avantages de cette disposition et surtout ceux résultant d'une grande vitesse de rotation aient été aperçus par ses devanciers. Il est convaincu que M. Wilde, dont le brevet lui était connu, ne les a pas appréciés, car il n'aurait pas manqué de faire tourner la cathode au lieu de faire tourner le liquide. Quant aux essais de M. Swan il n'en a pas lu la relation, mais ayant eu souvent l'occasion d'en parler avec l'auteur, il sait qu'ils ne donnèrent que des dépôts fortement striés, et, par conséquent, n'ayant pas les qualités requises par les acheteurs. Les procédés signalés par M. de Ferranti, si intéressants qu'ils soient, si l'on ne considère que la démonstration de la possibilité d'emploi de grandes densités de courant, ne peuvent avoir, à son avis, les avantages du sien en ce qui concerne la projection hors de la cathode, par la force centrifuge, de bulles d'hydrogène et des particules en suspension. Enfin, répondant à la demande du président, il dit que

Digitized by Google

la vitesse angulaire semble ne pouvoir descendre au-dessous de 1 000 t : m (1). J. B.

RECHERCHES THÉORIQUES

Distribution de l'électricité libre à la surface des tubes de Crookes, par **E. Riecke.** *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 788-800, décembre 1899.

C'est en projetant sur les parois du tube le mélange de soufre et de minium en poudre (figures de Lichtenberg) que Riecke a cherché à déterminer la distribution de l'électricité libre sur ces parois.

Il est clair que cette méthode ne peut fournir que des indications qualitatives : en effet la poudre se trouvera en équilibre non seulement aux points où la force électrique est normale à la paroi, mais encore en d'autres points, à cause du frottement entre la poudre et le verre : si η_1 est le coefficient de frottement, φ l'angle de la force électrique avec la normale, la poudre restera en équilibre partout où $\operatorname{tg}\varphi < \eta_1$. Autour d'un point où la force électrique est normale à la paroi, se formera donc une auréole, à l'intérieur de laquelle adhérera la poudre et cette auréole sera d'autant plus étendue que l'inclinaison de la force sur la normale varie plus lentement. On peut admettre que la quantité de poudre qui reste attachée au tube est proportionnelle à la force électrique $F = -\frac{dV}{dn_2}$, n_2 étant la normale extérieure. Quand la paroi est très mince, la somme des densités superficielles σ est sensiblement égale à :

$$-\frac{1}{4\pi}\left(\frac{dV}{dn_1}+\frac{dV}{dn_2}\right)$$

S'il existe sur la surface du tube deux points A et B où la force électrique est normale à ce verre, mais dirigée en A vers l'extérieur, en B vers l'intérieur, la région qui avoisine A se recouvrira de soufre, celle qui avoisine B se recouvrira de minium. Mais sur une courbe joignant A et B doit se trouver, en raison de la continuité un point C où la force électrique est parallèle à la surface : autour de ce point, il n'y aura pas de poudre : en ce point on a à la fois $\frac{dV}{dn_1} = \frac{dV}{dn_2} = 0$: la somme des densités sur la surface intérieure et sur la surface extérieure est nulle.

Les figures dessinées ainsi par le mélange de poudres sur la surface des tubes de Crookes sont fort irrégulières : la cause de ces irrégularités réside peut-être dans le défaut d'uniformité de la surface de la cathode. Cependant, il est possible de déduire de leur observation quelques résultats généraux.

Vis-à-vis de la cathode se forme un anneau jaune, nettement dessiné par la poudre de soufre : l'étendue de cet anneau correspond à peu près à celle de la fluorescence. Les régions rouges, c'est-à-dire recouvertes de minium ne se trouvent qu'à l'intérieur de cet anneau, exception faite de l'extrémité du tube à l'endroit où entre la cathode et de la section du tube par le plan de la cathode.

La poudre rouge est répartie irrégulièrement : les taches sont nettement délimitées du côté de l'anneau jaune : la région qui les sépare est entièrement exempte de poudre.

Entre les taches rouges situées à l'intérieur de l'anneau se forment des taches souvent recouvertes de poudre jaune : dans l'étroit espace qui sépare ces taches de l'anneau se détache d'habitude très nettement un filet rouge.

Dans l'intérieur de l'anneau jaune, le rouge domine quand l'anode est reliée au sol : si c'est la cathode qui est reliée au sol, la quantité de rouge croît avec la durée du courant.

La courbe qui forme l'intersection de la surface du tube avec le plan de la cathode constitue l'axe d'une bande large d'environ 1 cm et sur laquelle n'adhère aucune poudre. Du point d'entrée du fil qui porte la cathode jusqu'à cette bande, le verre est recouvert de poudre rouge. Dans l'anneau même on aperçoit souvent une fine ligne rouge, correspondant aux rayons émis par la tranche de la cathode.

(1) Ajoutons que dans une lettre publiée dans *The Electrician* du 16 février, p. 586, M. Wilde cite un extrait de son brevet et que dans une autre lettre publiée dans le même numéro, M. W.-S. Rawson dit que le procédé centrifuge de M. Cowper-Coles a été expérimenté il y a quelques années dans les usines Elmore et abandonné à la suite des mauvais résultats obtenus.

Dans le numéro du 23 février de *The Electrician*, M. Cowper-Colas répond à M. Wilde que les membres de l'office des brevets américains ont reconnu, après étude du brevet de M. Wilde, que son propre procédé est réellement différent de ce dernier ; et à M. Rawson que la pratique s'est chargée de montrer que, dans les conditions où il opère, son procédé permet d'obtenir des tubes de 30 cm de diamètre de meilleure qualité que ceux fabriqués par le procédé Elmore, car ils n'ont pas comme ceux-ci tendance à s'exfolier. J. B.

Digitized by Google

Quand l'anode est reliée au sol, le soufre forme des rubans nettement délimités, qui se dirigent de l'anode d'une part vers la cathode, d'autre part vers la tache négative qui fait face à celle-ci. Sans doute ces rubans dessinent des courants par lesquels l'électricité de l'anode se réunit à l'électricité de signe contraire de la cathode et de la tache fluorescente; cette dernière jouerait le rôle d'une deuxième cathode.

Des feuilles de métal ou des fils, placés sur le trajet des rayons cathodiques, donnent sur la paroi une ombre entourée de filets rouges bien délimités : l'ombre elle-même est exempte de poudre ou recouverte de soufre dans son milieu.

Quand une lame de métal est frappée par les rayons cathodiques, il se forme sur le verre, du côté opposé à la cathode, une ligne rouge fortement marquée, large de 1 mm environ dont la longueur correspond au diamètre de la lame.

Si la lame de métal est isolée, il se produit de plus sur la paroi opposée un anneau semblable à celui qui fait vis-à-vis à la cathode dans un tube ordinaire. D'après sa situation, cet anneau paraît dû à des rayons réfléchis régulièrement sur la surface du métal. M. L.

Méthode pour construire des aimants indépendants des variations de température; expérience sur les coefficients de température anormaux ou négatifs dans les aimants, par **J.-R. Ashworth**. *Proceedings of the Royal Society of London*, t. LXII. p. 210. Résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. IX, mars 1900, p. 173.

Les résultats principaux de ces recherches sont les suivants :

1° Le coefficient de température est généralement moindre dans les fers et aciers trempés ; il est particulièrement faible dans l'acier fondu trempé. Certains aciers au nickel trempés ont de très petits coefficients négatifs ;

2° Les fils de clavecin ont des coefficients de température négatifs ;

3° Le coefficient de température change de signe quand on fait varier : *a*) la trempe ; *b*) le rapport des dimensions du barreau ; d'où possibilité d'obtenir un coefficient de température nul.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 7 mars 1900.

M. **Zetter** décrit les modèles spéciaux de ***coupe-circuits, commutateurs, raccords et douilles pour lampes à incandescence*** étudiés par la Compagnie française d'Appareillage Électrique pour les circuits à 220 volts.

La distribution à 3 fils à raison de 220 volts par pont recevant tous les jours de nouvelles applications, ces appareils répondent à une réelle nécessité. L'appareillage ancien, créé pour une tension de 110 volts était, en effet, insuffisant, et on ne pouvait l'employer pour ces applications nouvelles que dans des conditions défavorables.

Les modèles présentés par M. Zetter sont les suivants :

Coupe-circuits. — Les coupe-circuits sont du type bipolaire. Les deux plombs sont séparés par une cloison isolante qui vient s'emboîter dans les côtés et le dessus du couvercle, en sorte que chacun d'eux se trouve dans une chambre absolument séparée. Des ouvertures sont ménagées dans le couvercle pour permettre l'évacuation des vapeurs de plomb et la sortie de l'air dilaté lorsqu'un plomb vient à sauter.

La distance minimum entre les plots qui servent à fixer les plombs, nécessaire pour qu'un arc ne puisse s'amorcer, est la suivante :

pour coupe-circuit de	3	ampères,	2 à 2,5 cm
—	5	—	3 —
—	15	—	3,5 —
—	30	—	4 —

Digitized by Google

Interrupteurs. — Les interrupteurs pour circuits à 220 volts sont du même modèle que ceux étudiés par les mêmes constructeurs pour circuits à 110 volts, mais les distances entre les différentes pièces est augmentée.

Douilles pour lampes à incandescence. — Les dimensions générales de la douille étaient déterminées par celles des lampes. Pour obtenir un isolement supérieur, on a noyé toutes les parties conductrices dans un bloc de porcelaine dont les dimensions ont été déterminées expérimentalement.

Raccords. — L'isolement est assuré par une plaque en fibre débordant les deux plaques métalliques du raccord.

M. Zetter décrit ensuite un ***coupe-circuit tripolaire pour moteurs d'ascenseurs électriques.***

Sur les distributions à 3 fils, l'induit des moteurs d'ascenseurs est branché sur les deux fils extrêmes, entre lesquels il existe une différence de potentiel de 440 volts, tandis que les inducteurs sont branchés sur un des fils extérieurs et le fil intermédiaire entre lesquels existe une différence de potentiel de 220 volts. Un plomb fusible est placé sur chacun des conducteurs d'amenée du courant, comme le représente le schéma (fig. 1).

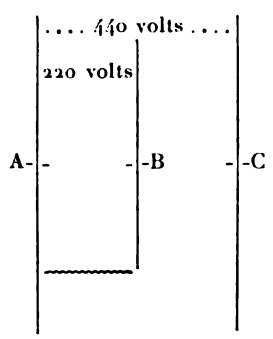


Fig. 1.

Si le plomb A saute seul, le courant passe par B et C. Le moteur excité en série à 220 volts continue à tourner. Si le plomb B vient à sauter seul, le courant passe par A et C ; l'armature soumise à une différence de potentiel de 440 volts sans que les inducteurs soient excités peut être endommagée. Si le plomb C saute, le moteur s'arrête.

Ce dispositif n'offre donc qu'une sécurité relative. C'est pourquoi la Compagnie d'appareillage a combiné l'appareil suivant (fig. 2) :

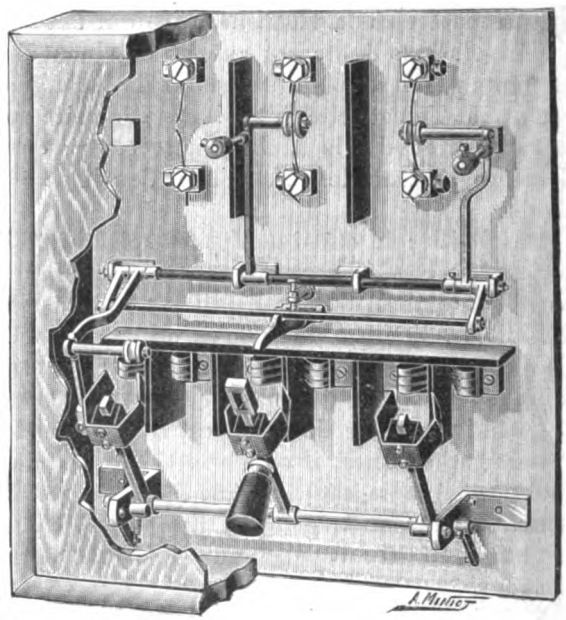


Fig. 2.

A la partie supérieure sont placés les trois plombs du schéma précédent. Chacun de ces plombs retient un bras pivoté sur un axe horizontal et muni d'un contre-poids et sollicité par un ressort à tomber lorsque le plomb vient à fondre. En tombant, ce bras frappe sur une tige horizontale mobile placée au milieu de l'appareil ; cette dernière abaisse alors le crochet qui retient les trois interrupteurs placés au bas de l'appareil : ceux-ci étant libérés cèdent à l'action de ressorts et coupent le courant sur les trois branches du circuit simultanément. Il suffit donc qu'un seul plomb vienne à sauter pour que le courant soit franchement interrompu dans le moteur. Cet appareil a reçu déjà de nombreuses applications et a donné satisfaction.

M. **X. Gosselin** décrit ensuite le tramway électrique allant de la porte Maillot à Suresnes par le Bois de Boulogne ; ce tramway, équipé en partie avec le trôlet aérien, en partie avec le contact superficiel système Védovelli, sera décrit prochainement en détail dans ce journal. Nous n'y insisterons pas aujourd'hui. G. P.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 24 Mars 1900. 7e Année. — N° 12

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

NOTE SUR LE CALCUL DES MOTEURS A COURANTS POLYPHASÉS

I. *Epure.* — Nous avons tracé sur la figure 1 l'épure relative au fonctionnement du moteur. Soit E_1 la tension aux bornes et soit I_1 le courant inducteur faisant un angle φ avec E_1, Du fait du passage de I_1 il se développe dans l'inducteur une force électromotrice de self-induction e_{1f} qui sera proportionnelle à I_1 et qui lui sera perpendiculaire. e_{1f} provient du flux de fuite qui se ferme autour de l'enroulement inducteur sans couper celui de l'induit.

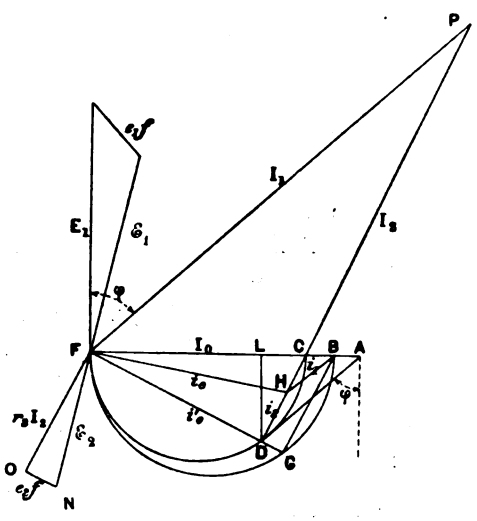


Fig. 1.

Ce sera $\mathcal{E}_1$, composante de E_1 et de e_{1f}, auquel la réaction du flux F, commun à l'induit et à l'inducteur, devra faire équilibre.

Le courant i_0 nécessaire pour produire le flux F sera perpendiculaire à $\mathcal{E}_1$.

D'autre part, portons en BF perpendiculairement à E_1 le courant I_0 qui produirait un flux capable de faire équilibre à E_1.

On voit que les deux triangles E_1, e_{1f}, $\mathcal{E}_1$ et I_0, i_1, i_0 sont semblables et l'on peut dire que de même que I_0 correspond à E et que i_0 correspond à $\mathcal{E}_1$, i_1 correspond également à e_{1f}. Comme les flux n'entrent en jeu que par les forces électromotrices qu'ils produisent on pourra dire que i_1 est le courant d'excitation qui correspond à e_{1f}, cela toutefois ne serait vrai en effet que si e_{1f} et E_1 provenaient de flux se produisant dans le même circuit magnétique.

**

Digitized by Google

Nous appellerons coefficient de fuite de l'inducteur la valeur constante $\frac{i_1}{I_1} = \alpha$. Supposons momentanément, pour tracer l'épure, que le rapport de transformation de l'induit par rapport à l'inducteur soit égal à l'unité et menons par B une droite BG ayant la direction de l'intensité dans l'induit. D'autre part, traçons à partir de F le triangle des forces électromotrices dans l'induit, la résultante $\mathcal{E}_2$ sera dans le prolongement de $\mathcal{E}_1$ puisque ces deux valeurs sont produites par un même flux de direction i_0; $r_2 I_2$ qui est la force électromotrice de perte ohmique sera parallèle à I_2 et e_{2f} la force électromotrice de fuite de l'induit sera perpendiculaire à I_2.

Nous pourrons alors tracer un triangle des intensités i_0, i_2, i'_0 dans lequel i_0 sera équivalent à $\mathcal{E}_2$, i_2 à e_{2f} et i'_0 à $r_2 I_2$.

Nous appellerons coefficient de fuite de l'induit le rapport constant $\frac{i_2}{I_2} = \beta$. Pour compléter l'épure menons par D une droite AD parallèle à I_1. Il est maintenant facile de voir que $I_1 = FP$ se décompose en deux $I_2 = HP$ et $i_0 = HF$.

Le point B est fixe puisque $BF = I_0$. Il est facile de montrer également que les deux points A et C sont fixes, on a en effet :

$$\frac{i_1}{I_1} = \frac{BC}{CF} \text{ ou } \frac{i_1}{I_1 + i_1} = \frac{BC}{I_0} \text{ donc } BC = I_0 \frac{1}{\frac{I_1}{i_1} + 1},$$

d'où l'on tire $BC = I_0 \frac{\alpha}{1+\alpha}$; le point C est donc fixe. On a d'autre part $\frac{i_2}{I_2} = \frac{AB}{I_0}$, donc $AB = BI_0$ et le point A est fixe.

On peut remarquer également que les points B et C étant fixes les deux points G et D décrivent lorsque φ varie des cercles sur BF et CF comme diamètres.

On peut prendre pratiquement $BC = \alpha I_0$ et $AB = \beta I_0$; il en résulte que si l'on connaît I_0 et que l'on se donne α et β on peut tracer l'épure complète pour chacune des valeurs de φ. En effet, il suffira de mener par A une droite A D faisant un angle φ avec l'horizontale, cette droite coupant le cercle CF en deux points tels que D on pourra tracer toutes les autres lignes de l'épure.

Remarquons que le cos φ maximum sera obtenu en menant par A une tangente au cercle CF.

II. *Détermination des éléments d'un moteur.* — Toute cette première partie de la théorie est établie en supposant que l'on peut négliger l'influence de la résistance ohmique de l'inducteur et du courant watté à vide : nous verrons par la suite comment l'on peut en tenir compte.

Calcul du courant à vide. — On a sur l'épure :

$$AD \sin \varphi = AC + CL \quad \text{d'où} \quad CL = AD \sin \varphi - AC,$$

mais

$$AD = I_1 (\alpha + \beta) \text{ et } AC = I_0 (\alpha + \beta).$$

donc :

$$CL = (\alpha + \beta) (I_1 \sin \varphi - I_0).$$

On a d'autre part

$$CL \times CF = \overline{CD}^2 = \overline{DL}^2 + \overline{CL}^2,$$

avec les valeurs

$$CF = I_0 (1 - \alpha) \text{ et } DL = I_1 (\alpha + \beta) \cos \varphi.$$

En remplaçant on aura

$$(\alpha + \beta) (I_1 \sin \varphi - I_0) (1 - \alpha) i_0 = I_1^2 (\alpha + \beta)^2 \cos^2 \varphi + (\alpha + \beta)^2 (I_1 \sin \varphi - I_0)^2;$$

Digitized by Google

en résolvant par rapport à $\frac{I_1}{I_0}$ on a

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{\sin\varphi\,[1+2(\alpha+\beta)]}{2(\alpha+\beta)} \pm \frac{1}{2(\alpha+\beta)}\sqrt{1-\cos^2\varphi\,\{1+4(\alpha+\beta)[1+(\alpha+\beta)]\}}.$$

Si nous posons $\alpha+\beta=\sigma$ nous pouvons écrire

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{1}{2\sigma}\left[\sin\varphi\,(1+2\sigma) \pm \sqrt{1-\cos^2\varphi\,(1+2\sigma)^2}\right].$$

La valeur maximum du cos φ sera celle qui annule le radical, c'est-à-dire

$$\cos\Phi = \frac{1}{1+2\sigma}.$$

Pour cette valeur du cos φ on aura

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{\sigma}}.$$

Calcul du courant d'excitation en charge. — Le courant i_0 est celui qui sert à produire le flux en charge. On a dans le triangle i_0, I_0, i_1

$$i_0^2 = I_0^2 + i_1^2 - 2I_0 i_1 \sin\varphi,$$

ou

$$i_0^2 = I_0^2 + \alpha I_1^2 - 2\alpha I_0 i_1 \sin\varphi,$$

ce qui peut s'écrire

$$\left(\frac{i_0}{I_0}\right)^2 = \alpha^2\left(\frac{I_1}{I_0}\right)^2 + 1 - 2\alpha\,\frac{I_1}{I_0}\sin\varphi.$$

Or nous avions trouvé précédemment :

$$(\alpha+\beta)(I_1\sin\varphi - I_0)\,I_0\,(1-\alpha) = I_1^2(\alpha+\beta)^2\cos^2\varphi + (\alpha+\beta)^2[I_1\sin\varphi - I_0]^2,$$

d'où l'on tire en développant et en posant $\alpha+\beta=\sigma$,

$$\left(\frac{I_1}{I_0}\right)^2 = \frac{I_1}{I_0}\sin\varphi\,\frac{1+2\sigma}{\sigma} - \frac{1+\sigma}{\sigma}.$$

Si nous remplaçons dans la valeur de $\left(\frac{i_0}{I_0}\right)^2$ on trouve

$$\left(\frac{i_0}{I_0}\right)^2 = 1 + \frac{I_1}{I_0}\sin\varphi\left[\alpha^2\,\frac{1+2\sigma}{\sigma} - 2\alpha\right] - \alpha^2\,\frac{1+\sigma}{\sigma};$$

remplaçons aussi α par $\frac{\sigma}{2}$ nous trouvons

$$\left(\frac{i_0}{I_0}\right)^2 = 1 - \frac{I_1}{I_0}\sin\varphi\left[\frac{3\sigma-2\sigma^2}{4}\right] - \frac{\sigma+2\sigma^2}{4},$$

ou en négligeant $2\sigma^2$ devant σ

$$\frac{i_0}{I_0} = \sqrt{1 - \frac{I_1}{I_0}\sin\varphi\,\frac{3\sigma}{4} - \frac{\sigma}{4}},$$

valeur qui est très suffisamment exacte.

Courant dans l'induit. — Supposons d'abord que le coefficient de transformation de

Digitized by Google

l'inducteur par rapport à l'induit soit égal à l'unité on aura sur l'épure

$$i_2 = CD\,\frac{\beta}{\alpha+\beta} \quad \text{ou} \quad \frac{i_2}{\beta} = I_2 = \frac{CD}{\alpha+\beta};$$

d'autre part nous avons trouvé

$$\overline{CD}^2 = \overline{DL}^2 + \overline{CL}^2 = I_1^2(\alpha+\beta)^2\cos^2\varphi + (\alpha+\beta)^2[I_1\sin\varphi - I_0]^2,$$

d'où on tire

$$CD = (\alpha+\beta)\sqrt{I_1^2 - 2I_1I_0\sin\varphi + I_0^2},$$

et

$$I_2 = \sqrt{I_1^2 - 2I_1I_0\sin\varphi + I_0^2} \quad \text{ou} \quad \frac{I_2}{I_0} = \sqrt{\left(\frac{I}{I_0}\right)^2 - 2\,\frac{I}{I_0}\sin\varphi + 1}.$$

Pour avoir les véritables valeurs du courant dans l'induit il faudra multiplier la valeur ainsi trouvée par $\frac{N_1K_1}{N_2K_2}$.

N_1 et N_2 étant les nombres totaux de conducteurs périphériques de l'inducteur et de l'induit et K_1, K_2 des coefficients tenant compte du nombre d'encoches par champ (1).

Largeur à donner à l'induit. — Soit D le diamètre de l'induit, L sa largeur, δ l'entrefer, a un coefficient tenant compte de la largeur des fentes des encoches on aura pour la résistance magnétique de l'entrefer la valeur

$$R_e = \frac{2a\delta}{\frac{\pi DL}{2p}}.$$

Si B_e désigne l'induction dans l'entrefer et B_n l'induction dans le fer on aura très approximativement pour la résistance magnétique du fer la valeur

$$R_f = \frac{\frac{2\pi D}{2p}}{\mu\,\frac{\pi DL}{2p}\,\frac{B_e}{B_n}},$$

$2p$ étant le nombre de pôles. On a donc pour la résistance magnétique totale d'un champ :

$$R = \frac{2}{\frac{\pi DL}{2p}}\left[a\delta + \frac{1}{\mu}\,\frac{\pi D}{2p}\,\frac{B_n}{B_e}\right].$$

D'autre part le flux à un régime quelconque sera

$$F_1 = \frac{0{,}2\pi\sqrt{2}\,N_1I_0K_1}{pR}\ (2).$$

Nous avons d'autre part

$$E_1 \times 10^8 = \frac{2\pi\Omega N_1k_1F_1}{2\sqrt{2}\,q_1},$$

où q_1 désigne le nombre de phases de l'inducteur k_1 un coefficient tenant compte du

(1) Voir Blondel, *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 308, 17 août 1895.

(2) *Ibid.*

Digitized by Google

nombre d'encoches par champ et Ω la fréquence des courants d'alimentation. Cette équation peut se mettre sous la forme

$$E_1 q_1 I_1 \cos\varphi \times 10^8 = 2{,}23 N_1 k_1 F_1 I_1 \cos\varphi = P \times 10^8$$

P étant la puissance totale donnée à l'inducteur.

En remplaçant dans cette formule $F_1 I_1$ et R par leurs valeurs on a

$$P \times 10^8 = 1{,}55 \frac{k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi N_1^2 I_1^2}{p^2 \left(a\delta + \frac{1}{\mu} \frac{\pi D}{2p} \frac{B_n}{B_e} \right)} . DL,$$

d'où on tire

$$L = \frac{P \times 10^8 . p^2 \left(a\delta + \frac{1}{\mu} \frac{\pi D}{2p} \frac{B_n}{B_e} \right)}{1{,}55 k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi N_1^2 I_1^2 D} ;$$

remarquons que le nombre d'ampères-tours du moteur peut se mettre sous la forme $N_1 I_1 = \gamma D$, γ étant un coefficient qui varie suivant les dimensions du moteur entre 70 et 150, on aura alors

$$L = \frac{P \times p^2 \left(a\delta + \frac{1}{\mu} \frac{\pi D}{2p} \frac{B_n}{B_e} \right)}{1{,}55 k_1 K_1 \Omega \gamma^2} \quad \frac{10^8}{D^3 \frac{I_0}{I_1} \cos\varphi} ;$$

Calcul de la hauteur du fer de l'inducteur. — Appelons H la hauteur du fer de l'inducteur, on aura

$$F_1 = \frac{0{,}885 \times N_1 I_0 K_1}{pR} = \frac{0{,}885 K_1 N_1 I_1 \frac{I_0}{I_1}}{\frac{4p^2}{\pi DL} \left[a\delta + \frac{1}{\mu} \frac{\pi D}{2p} \frac{B_n}{B_e} \right]} ;$$

or, on a

$$\frac{F_1}{2LH} = B_n = \frac{\frac{0{,}885 K_1 N_1 I_1 \frac{I_0}{I_1}}{\frac{4p^2}{\pi DL} \left(a\delta + \frac{1}{\mu} \frac{\pi D}{2p} \frac{B_n}{B_e} \right)}}{2LH} = \frac{0{,}35 K_1 N_1 I_1 \frac{I_0}{I_1} D}{Hp^2 \left(a\delta + \frac{1}{\mu} \frac{\pi D}{2p} \frac{B_n}{B_e} \right)} ,$$

d'où l'on tire en remplaçant $N_1 I_1$ par γD

$$H = \frac{0{,}35 K_1 \gamma}{B_n p^2 \left(a\delta + \frac{1}{\mu} \frac{\pi D}{2p} \frac{B_n}{B_e} \right)} . \frac{I_0}{I_1} D^2 .$$

Remarquons que le volume de la partie utile du moteur est sensiblement égal à $2\pi DLH$, or on a en remplaçant L et H par leur valeur et en simplifiant

$$2\pi DLH = \frac{1{,}41 \times 10^8}{\gamma k_1} \frac{P}{B_n \Omega \cos\varphi} .$$

Glissement. — Nous avons donné précédemment pour expression d'une force électro-

Digitized by Google

motrice E et du flux F créé par un courant d'excitation i

$$E \times 10^8 = \frac{2\pi \Omega N k F}{2\sqrt{2}\, q} \quad \text{et} \quad F = \frac{0{,}2\pi\sqrt{2}\, N i K}{p R},$$

d'où l'on tire

$$E \times 10^8 = \frac{1{,}97\, K k \Omega N^2 i}{pqR};$$

or dans l'épure il y a équivalence entre la force électromotrice de perte ohmique $r_2 I_2 \frac{N_1 K_1}{N_2 K_2}$ et les ampères-tours correspondants au courant $i'_0 \frac{N_1 K_1}{N_2 K_2}$, on a donc

$$r_2 I_2 \frac{N_1 K_1}{N_2 K_2} \times 10^8 = \frac{1{,}97\, K_2 k_2 (\Omega - \omega) N_2^2 i'_0 \frac{N_1 K_1}{N_2 K_2}}{p q_2 R}.$$

On a d'autre part

$$E_1 \times 10^8 = \frac{1{,}97\, K_1 k_1 \Omega N_1^2 I_0}{p q_1 R}.$$

En faisant le rapport de ces deux expressions on trouve

$$\frac{q_2 r_2 I_2}{E q_1} = \frac{K_2 k_2}{K_1 k_1} \frac{N_2^2}{N_1^2} \frac{i'_0}{I_0} \frac{\Omega - \omega}{\Omega}.$$

En posant

$$\frac{\Omega - \omega}{\Omega} = g \frac{K_2 k_2}{K_1 k_1} = b,$$

on a

$$\frac{q_2 r_2 I_2}{E q_1} = b \frac{N_2^2}{N_1^2} \frac{i'_0}{I_0} \cdot g \quad \text{donc} \quad g = \frac{q_2 r_2 N_1^2 I_0 I_2}{E q_1 N_2^2 i'_0} \cdot \frac{1}{b}.$$

Mais sur l'épure on voit que

$$\frac{DL}{CD} = \frac{i'_0}{I_0} = \frac{I_1 \cos\varphi\, (\alpha + \beta)}{I_2 (\alpha + \beta)} = \frac{I_1 \cos\varphi}{I_2},$$

d'où

$$g = \frac{q_2 r_2 I_2^2 \frac{N_1^2}{N_2^2} \cdot \frac{1}{b}}{E q_1 I_1 \cos\varphi} = \frac{q_2 r_2 I_2^2 \frac{N_1^2}{N_2^2} \frac{1}{b}}{P},$$

$I_2 \frac{N_1}{N_2}$ représente le courant circulant dans l'induit et $q_2 r_2 I_2^2 \frac{N_1^2}{N_2^2}$ est la quantité d'énergie consommée dans l'induit, P étant la puissance fournie au moteur. Le glissement est donc égal au pourcentage de perte dans l'induit, au coefficient b près tenant compte du nombre d'encoches dans les deux parties du moteur.

Cette expression peut aussi se mettre sous la forme

$$g = \frac{q_2 r_2 \frac{N_1^2}{N_2^2} I_0}{E q_1} \cdot \frac{\frac{I_2^2}{I_0^2}}{\frac{I_1}{I_0} \cos\varphi} \cdot \frac{1}{b},$$

qui nous servira pour tracer les courbes de fonctionnement des moteurs.

Couple au démarrage. — Au moment du démarrage on aura

$$r_2 I_2 \frac{N_1 K_1}{N_2 K_2} \times 10^8 = \frac{1{,}97\, K_2 k_2 \Omega N_2^2 i'_0 \frac{N_1 K_1}{N_2 K_2}}{p q_2 R},$$

Digitized by Google

ou bien

$$r_2 I_2 \times 10^8 = \frac{1{,}97\, K_2 k_2 \Omega N_2^2 i_0'}{p q_2 R};$$

donc au moment du démarrage il faudra que

$$\frac{I_2}{i_0'} = \frac{1{,}97\, K_2 k_2 \Omega N_2^2}{p q_2 r_2 R \times 10^8} = A \quad \text{mais} \quad I_2 = \frac{CD}{\alpha + \beta};$$

donc

$$\frac{\frac{CD}{\alpha+\beta}}{i_0'} = A \quad \text{d'où} \quad i_0' = \frac{CD}{A(\alpha+\beta)}.$$

L'on a d'autre part

$$DL \times CF = CD \times i_0' \quad \text{donc} \quad DL = \frac{CD \times i_0'}{I_0}.$$

Calculons CD et i_0, on a

$$\overline{CD}^2 + i_0'^2 = I_0^2,$$

ce qui peut s'écrire

$$A^2(\alpha+\beta)^2 i_0'^2 + i_0'^2 = I_0^2 \quad \text{d'où} \quad i_0' = \frac{I_0}{\sqrt{1 + A^2(\alpha+\beta)^2}}.$$

On a aussi

$$\overline{CD}^2 + \frac{\overline{BD}^2}{A^2(\alpha+\beta)^2} = I_0^2,$$

d'où

$$CD = \frac{I_0 A(\alpha+\beta)}{\sqrt{1 + A^2(\alpha+\beta)^2}};$$

remplaçons i'_0 et CD par leurs valeurs dans l'expression de DL ; on a

$$DL = \frac{I_0 A(\alpha+\beta)}{1 + A^2(\alpha+\beta)^2}.$$

D'autre part on voit sur l'épure que d'une façon générale DL est égal à $(\alpha+\beta) I_1 \cos\varphi$; donc si l'on appelle I_D le courant primaire au démarrage et $\cos\varphi'$ le $\cos\varphi$ à ce moment l'on aura

$$(\alpha+\beta) I_D \cos\varphi' = \frac{I_0 A(\alpha+\beta)}{1 + A^2(\alpha+\beta)^2},$$

ou

$$I_D \cos\varphi' = \frac{I_0 A}{1 + A^2(\alpha+\beta)^2}.$$

Nous avons d'autre part

$$E_1 \times 10^8 = \frac{1{,}97\, K_1 k_1 \Omega N_1^2 I_0}{p q_1 R},$$

d'où l'on tire

$$\frac{\Omega}{pR} = \frac{E_1 q_1 \times 10^8}{1{,}97\, K_1 k_1 N_1^2 I_0};$$

en remplaçant dans la valeur de A on trouve

$$A = \frac{E q_1 K_2 k_2 N_2^2}{q_2 r_2 K_1 k_1 N_1^2 I_0},$$

Digitized by Google

en remplaçant A par sa valeur dans $I_D \cos \varphi'$ on aura

$$I_D \cos' \varphi = \frac{\dfrac{E_1 q_1}{r_2 q_2 \dfrac{N_1^2}{N_2^2} \dfrac{K_1 k_1}{K_2 k_2}}}{1 + \left(\dfrac{E_1 q_1}{q_2 r_2 \dfrac{N_1^2}{N_2^2} \dfrac{K_1 k_1}{K_2 k_2}} \right)^2 \left(\dfrac{\alpha + \beta}{I_0} \right)^2} .$$

Or, le rapport du couple au démarrage et du couple normal est représenté par

$$\frac{I_D \cos \varphi'}{I \cos \varphi} = \frac{\dfrac{E_1 q_1}{q_2 r_2 \dfrac{N_1^2}{N_2^2} \dfrac{K_1 k_1}{K_2 k_2} I_1}}{1 + \left(\dfrac{E_1 q_1}{q_2 r_2 \dfrac{N_1^2}{N_2^2} \dfrac{K_1 k_1}{K_2 k_2} I_1} \right)^2 \left(\dfrac{I_1}{I_0} \right)^2 (\alpha + \beta)^2} \cdot \frac{1}{\cos \varphi} .$$

Remarquons que

$$q_2 r_2 \frac{N_1^2}{N_2^2} \cdot \frac{K_1 k_1}{K_2 k_2}$$

est la résistance ohmique de l'induit ramenée en nombre de spires de l'inducteur en tenant compte du coefficient $\frac{K_1 k_1}{K_2 k_2} = \frac{1}{b}$ déterminé par le nombre d'encoches des champs, par conséquent

$$q_2 r_2 \frac{N_1^2}{N_2^2} \frac{K_1 k_1}{K_2 k_2} I_1$$

est la perte de voltage qui serait causée par le courant normal I_1 de l'induction dans une telle résistance.

Le numérateur $\dfrac{E q_1}{q_2 r_2 \dfrac{N_1^2}{N_2^2} \dfrac{K_1 k_1}{K_2 k_2} I_1}$ est donc un rapport de force électromotrice que nous appellerons B en écrivant

$$\frac{I_D \cos \varphi'}{I_1 \cos \varphi} = \frac{C_D}{C_n} = \frac{B}{1 + B^2 \left(\dfrac{I_1}{I_0} \right)^2 \sigma^2} \cdot \frac{1}{\cos \varphi} .$$

L'intensité dans l'induit au démarrage sera

$$I_2 = \frac{A I_0}{\sqrt{1 + A^2 (\alpha + \beta)^2}},$$

qui pourra s'écrire en remplaçant A par sa valeur

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{B}{\sqrt{1 + B^2 \left(\dfrac{I_1}{I_0} \right)^2 (\alpha + \beta)^2}} .$$

III. *Tracé des courbes.*—Remarquons qu'une fois que la valeur de $\sigma + \beta$ ou de σ est connue

Digitized by Google

on peut successivement tracer en fonction de cos φ des courbes représentant :

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{1}{2\sigma}\left[(1+2\sigma)\sin\varphi \pm \sqrt{1-(1+2\sigma)^2\cos^2\varphi}\right] \qquad (a)$$

$$T = \frac{I_1}{I_0}\cos\varphi \qquad (b)$$

$$\frac{I_2}{I_0} = \frac{B}{\sqrt{\left(\frac{I_1}{I_0}\right)^2 - 2\frac{I_1}{I_0}\sin\varphi + 1}} \qquad (c)$$

$$g = \frac{q_2 r_2 \frac{N_1^2}{N_2^2} I_0}{E_1 q_1} \cdot \frac{\frac{I_2^2}{I_0^2}}{\frac{I_1}{I_0}\cos\varphi} \qquad (d)$$

ce sont ces courbes que l'on peut tracer pour chacune des valeurs de σ comprises entre $\sigma = 0{,}06$ et $\sigma = 0{,}014$.

Une fois que l'on se sera fixé une valeur de σ pour un moteur déterminé on n'aura qu'à prendre l'épure correspondante qui représentera le fonctionnement du moteur en fonction de I_0.

Nous examinerons dans un prochain article la manière d'appliquer ces formules et les courbes qu'on en déduit au calcul d'un moteur.

Georges Giles.

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

DYNAMOS A COURANT CONTINU

On a employé jusqu'ici pour faciliter la commutation dans les machines à courant continu des pièces polaires avec entrefer croissant depuis l'axe du pôle jusqu'à l'extrémité des cornes polaires. Le dispositif nouveau que propose M. Coleman de Kando (1) permet d'obtenir le même résultat, diminution croissante de l'induction sur les cornes polaires en donnant à celles-ci une forme telle que la saturation de la corne augmente au fur et à mesure qu'on s'approche de son extrémité. Ce résultat est obtenu en diminuant la section active du fer.

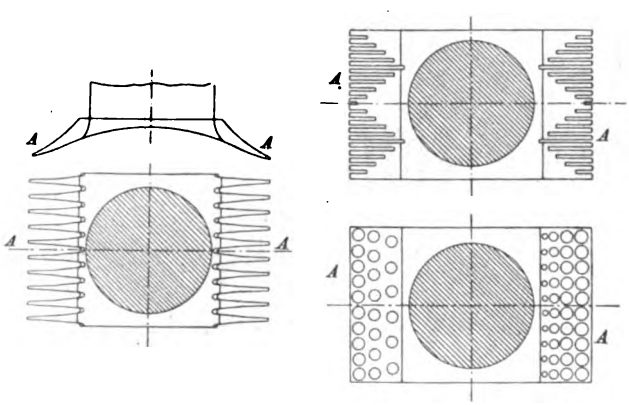


Fig. 1, 2, 3 et 4. — Epanouissements polaires de Kando.

Les figures 1, 2, 3 et 4 représentent trois dispositions adoptées par l'inventeur. Dans la première (fig. 1 et 2) les cornes polaires sont formées de dents allant en se rétrécissant depuis le noyau polaire jusqu'à l'extrémité des cornes. Sur la figure 3 la diminution progressive de la section est obtenue en pratiquant dans les cornes polaires des traits de scie de différentes profondeurs.

(1) Brevet anglais n° 10413, 4 figures. Déposé le 17 mai 1899, délivré le 15 juillet 1899.

***

Digitized by Google

La figure 4 montre un dispositif où le résultat cherché est obtenu en perçant dans les cornes polaires des trous de diamètre d'autant plus grand que ces trous sont plus éloignés de l'axe du pôle.

Les porte-charbons de MM. A. Patterson, W.-H. Davies et H. Whate (1) sont disposés dans des tubes et placés perpendiculaires au collecteur, le charbon qui peut être cylindrique étant pressé sur le collecteur à l'aide d'un ressort à boudin.

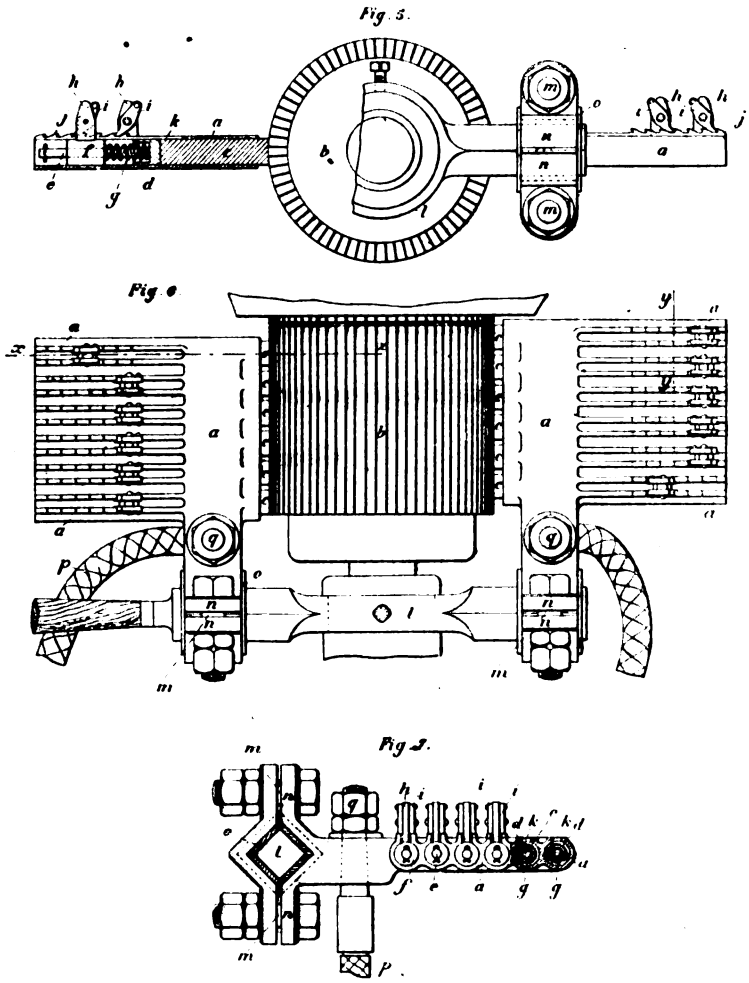


Fig. 5, 6 et 7. — Porte-balais Patterson, Davies, et Whate.

Le support des porte-balais est formé comme d'ordinaire (fig. 5, 6 et 7) par un collier de fonte *l* portant deux bras à section carrée sur lesquels sont serrés et isolés des colliers *n* en deux parties dont l'une porte un bras très large *a* qui constitue le porte-balais proprement dit.

Les balais sont logés dans des cavités cylindriques ménagées dans le bras *a* et sont poussés contre le collecteur par un piston *d* sur lequel presse un ressort à boudin *g*. Ce ressort s'appuie contre un second piston *f* qui coulisse dans le trou cylindrique et qui est muni d'une oreille *h* se déplaçant dans une rainure et portant un cliquet *i*. Ce cliquet *i* se déplace le long d'une crémaillère *j* et permet de maintenir constante la longueur du ressort avec l'usure du charbon de façon à conserver une pression constante du balai sur le collecteur *b*.

Les câbles de prise de courant sont fixés directement après les supports de porte-balais *a*.

La principale difficulté que l'on rencontre dans la réalisation d'un bon porte-charbon est d'obtenir une bonne flexibilité de l'ensemble ; M. J. Burke (2) arrive à vaincre cette difficulté en articulant le corps du porte-balai et la pince.

Le dispositif de M. Burke est représenté sur les figures 8 et 9.

Le corps du porte-balai est formé d'un collier *r* serré sur l'axe *t* à l'aide d'une vis *w* ; il est réuni à la pince *h* par quatre plaquettes *p*, articulées en *d* et d_1.

(1) Brevet anglais n° 17529, 3 figures. Déposé le 15 août 1898, délivré le 29 juillet 1899.

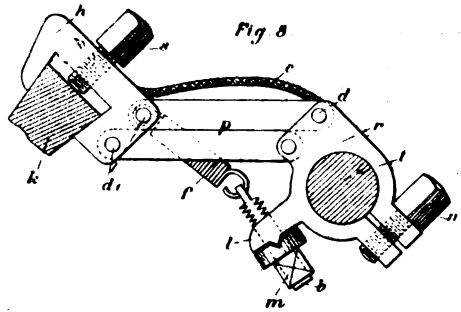
(2) Brevet anglais n° 13731, 2 figures. Déposé le 28 juin 1899, délivré le 5 août 1899.

Digitized by Google

Le charbon *k* est appuyé sur le collecteur par la tension du ressort *f* dont l'une des extrémités est accrochée à la pince *h* et l'autre à une vis *b* traversant une oreille *l* venue de fonte avec le collier *r*. Un écrou *m* permet de remonter plus ou moins cette vis de façon à tendre le ressort convenablement.

Le courant est transporté de la pince au corps du porte-charbon par un conducteur souple, comme cela est du reste employé dans un grand nombre de porte-charbons.

Ce système de balai, au dire de son inventeur, requiert une faible pression sur le collecteur et son emploi diminue par suite les pertes par frottement sur celui-ci.



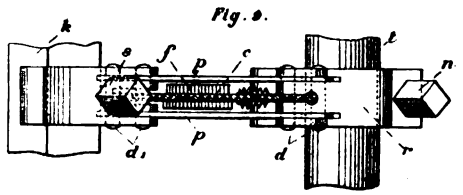


Fig. 8 et 9. — Porte charbon Burke.

Les perfectionnements que propose M. H.-J Walker (1) nous ramènent à une idée déjà vieille, celle de l'inclinaison des pièces polaires par rapport à l'axe ou aux conducteurs de l'induit, émise en 1890 par Atkinson à propos de la discussion des mémoires de Swinburne et d'Esson (2) sur les dynamos et préconisée depuis par de nombreux inventeurs.

MM. J. Walker utilise encore une autre idée au moins aussi connue que la première et aussi employée, celle du sectionnement des pôles inducteurs dans le sens de l'axe pour augmenter la résistance magnétique du flux de réaction induit.

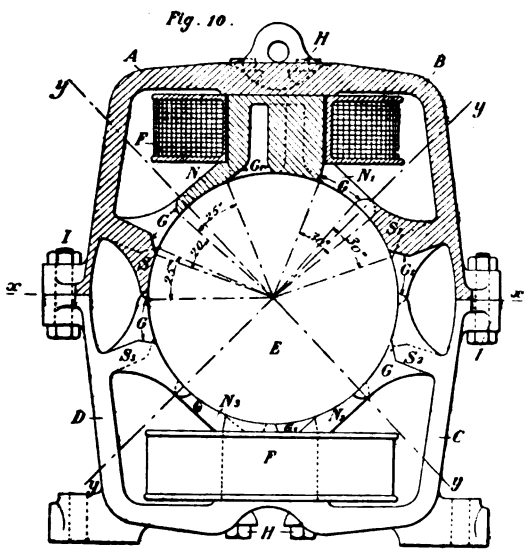


Fig. 10. — Vue et coupe perpendiculaire à l'axe d'une dynamo Walker.

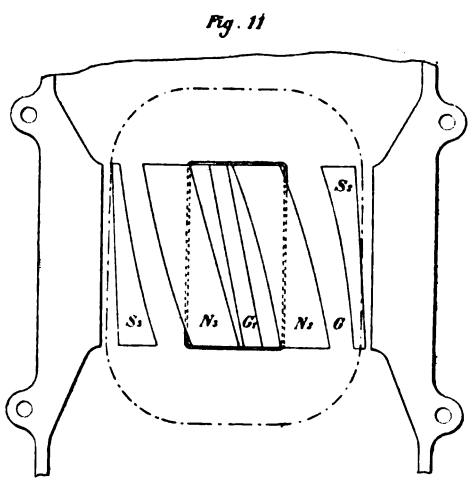


Fig. 11. — Vue d'un épanouissement polaire de dynamo Walker.

La machine de M. Walker, représentée en coupe perpendiculaire à l'axe sur la figure 10,

(1) Brevet anglais n° 17013. 3 figures. Déposé le 6 août 1898, délivré le 5 août 1899.

(2) Voir *La Lumière Électrique*, t. XXXVIII, p. 127, 1890.

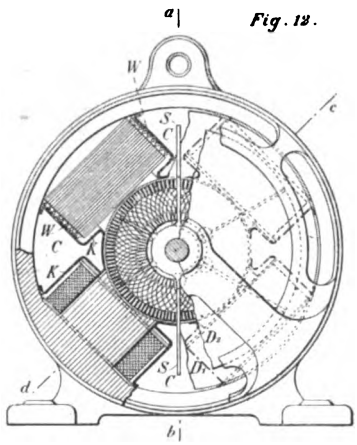
Digitized by Google

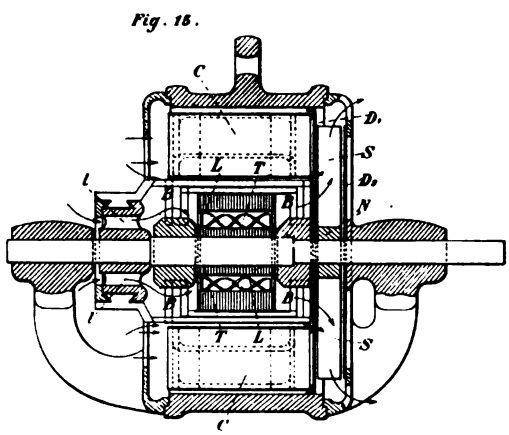
est du type à quatre pôles et ne comporte que deux bobines inductrices F comme dans les machines bien connues de Kapp, de Wenstrom et des ateliers d'Oerlikon. Les noyaux polaires et les épanouissements portent des mortaises dont la direction est légèrement oblique par rapport à celle de l'axe de la machine comme le montre la figure 11 qui représente une vue de face de l'une des pièces polaires de l'inducteur.

La largeur de chaque demi-pièce polaire occupe, dans une machine à quatre pôles, un arc d'environ 25°, les longueurs des rainures et celles comprises entre les pièces polaires de nom contraire sont de 20° environ, tandis que l'angle que fait la direction des bords des pièces polaires avec l'axe ou les conducteurs induits est de 30°.

En inclinant ainsi le conducteur par rapport aux bords des pièces polaires les sections en commutation sont situées à la fois sur les deux pôles et tout se passe comme dans le dispositif S.-W. Brown-Mordey (1), c'est-à-dire qu'une partie de la section va chercher sur la corne polaire d'avant la force électromotrice nécessaire au renversement du courant dans la section en commutation.

La carcasse inductrice est formée en deux parties assemblées par des boulons I ; la partie inférieure porte des oreilles qui servent de supports à la dynamo. Les noyaux polaires sont retenus à la carcasse inductrice par des boulons II.





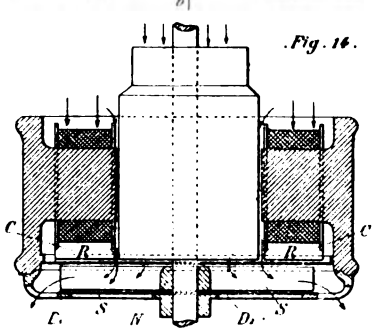


Fig. 12, 13 et 14. — Procédé de ventilation des machines à courant continu de Siemens et Halske.

Nous avons tout récemment encore décrit quelques procédés employés pour la ventilation des dynamos, en particulier celui de MM. Siemens et Halske pour les alternomoteurs (2).

Nous en décrirons un second des mêmes inventeurs, antérieur du reste au précédent (3).

Le but des inventeurs est d'assurer la ventilation par un courant d'air de vitesse assez forte et animée d'un mouvement tourbillonnaire de façon à occasionner un refroidissement très efficace.

Les figures 12, 13 et 14 représentent l'application du dispositif de MM. Siemens et Halske à une dynamo à courant continu.

Comme dans le dispositif rappelé la partie tournante porte un ventilateur dont les ailes S

(1) Voir l'article de M. Mordey sur « les dynamos », *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 111, 1897 et notre article sur « les machines dynamo-électriques : dynamos à courant continu », *Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 305, 1898.

(2) Voir notre article « machines dynamo-électriques : alternomoteurs », t. XXI, p. 212, 11 novembre 1899.

(3) Brevet anglais n° 17974, 3 figures. Déposé le 20 août 1898, délivré le 19 août 1899.

Digitized by Google

aspirent l'air de l'intérieur du moteur à travers certains canaux. Les disques D_2 D_1, limitant latéralement le ventilateur ont, le premier, attaché à la carcasse de la dynamo, un diamètre intérieur égal à celui de l'induit et, le second un diamètre extérieur inférieur au diamètre intérieur de la carcasse magnétique.

Les bobines inductrices sont enveloppées par une sorte de boîte prismatique C, ouverte du côté du collecteur où l'air peut rentrer, et portant du côté opposé une ouverture destinée à la sortie de l'air et par où se fait l'aspiration. Les parois de la boîte C sont en métal ondulé de façon à accroître la surface de refroidissement.

La lanterne du collecteur est creusée par des canaux *l*, il en est de même de celle de l'induit dont les canaux L portent des hélices métalliques qui impriment à l'air un mouvement tournant.

Du côté du collecteur la dynamo est complètement enveloppée et ne porte qu'une ouverture annulaire concentrique à l'autre et par laquelle entre l'air qui sert au refroidissement des inducteurs et de la surface latérale extérieure de l'induit.

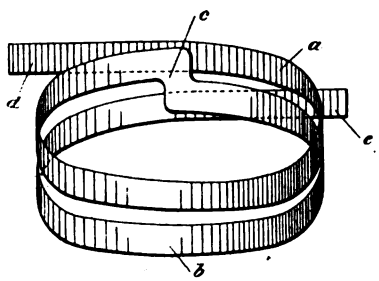


Fig. 15. — Bobine inductrice sûre de dynamo Earle.

Les perfectionnements que M. H.-A. Earle (1) apporte aux dynamos ont pour objet la constitution des inducteurs série des dynamos compound de large puissance.

Pour faciliter l'enroulement des barres sur les inducteurs, l'inventeur les partage en deux parties et les réunit par des pièces conductrices *c* à angle droit avec les spires, comme le montre la figure perspective 15; c'est là un procédé qui n'a rien de bien nouveau et qui est employé journellement non seulement pour les circuits inducteurs série, mais aussi pour les induits des machines à courants alternatifs constitués par bobines séparées faites avec des bandes de cuivre.

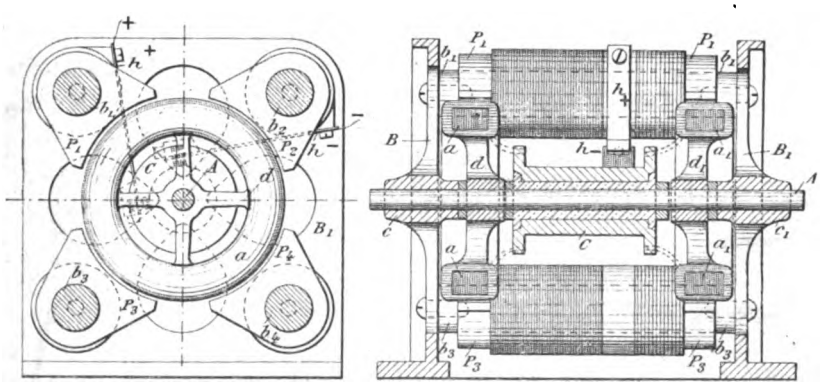


Fig. 16 et 17. — Vue et coupe d'une dynamo Bocquentin.

Les dynamos de M. Bocquentin (2) sont caractérisées par ce fait qu'elles sont constituées par deux induits montés sur le même arbre aboutissant à un collecteur unique placé entre les deux dispositifs qui permet de réduire la longueur de la machine.

Une dynamo de ce type, à quatre pôles, est représentée en vue de bout sur la figure 16 et en coupe sur la figure 17.

(1) Brevet anglais n° 14338, 2 figures. Déposé le 11 juillet 1899, délivré le 26 août 1899.

(2) Brevet anglais n° 20829, 2 figures. Déposé le 3 octobre 1898, délivré le 9 septembre 1899.

Digitized by Google

La dynamo est maintenue entre deux flasques en métal non magnétiques, bronze ou aluminium B et B_1 portant les paliers c et c_1 ; ces deux flasques sont réunies entre elles par les noyaux polaires b_1, b_2, b_3, b_4 portant chacun deux épanouissements polaires P_1, P_2, P_3, P_4 qui entourent la surface des induits a et a_1 bobinés en anneaux Gramme.

Les deux induits supportés par les lanternes d et d_1 sont clavetés sur l'arbre A qui porte en même temps le collecteur unique C aux lames duquel aboutissent les différentes sections des enroulements qui sont ainsi montés en quantité.

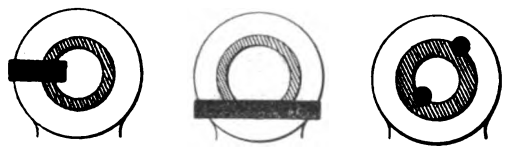


Fig. 18, 19 et 20. — Procédés de fixation des axes des porte-balais pour empêcher leur rotation par desserrage.

Pour éviter l'emploi de quatre balais, on peut, comme on le fait habituellement, réunir directement entre elles les lames diamétralement opposées ; deux balais — h et + h sont alors suffisants.

Beaucoup de constructeurs emploient comme axe de porte-balais des tiges cylindriques même dans la partie qui est serrée dans les oreilles du collier mobile servant de support. Ce dispositif a l'inconvénient de ne pas s'opposer à la rotation des axes des porte-balais en cas de desserrage. On peut y remédier ou en clavetant ses axes comme le montrent les figures 18 et 19 ou en disposant des vis entre cuir et chair comme l'indique la figure 20.

M. Scott (1) a introduit à la Brush Company un dispositif plus simple qui consiste à donner une section polygonale, carrée par exemple, à l'axe du porte-balais dans la partie qui est engagée dans l'oreille du collier (fig. 21).

Un autre avantage de ce dispositif est que l'on peut facilement connecter un câble flexible directement à l'axe du porte-balai.

M. Scott signale également un dispositif intéressant (fig. 22) employé par MM. Holmes

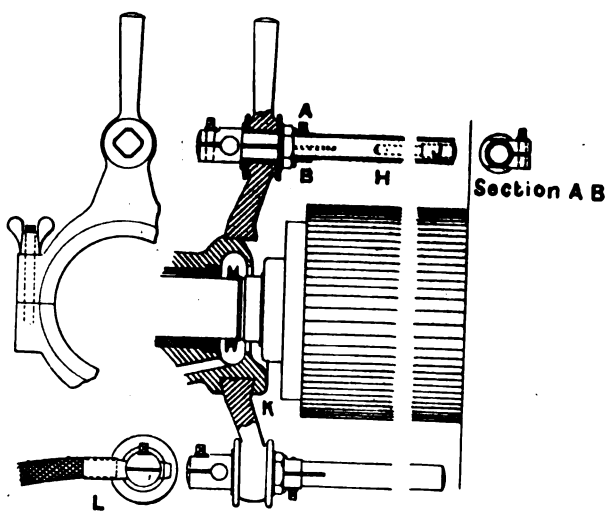


Fig. 21. — Détails du support de porte-balais et du collier Scott.

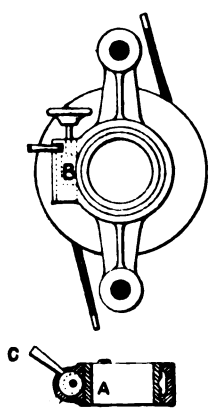


Fig. 22. — Dispositif de décalage des balais de Holmes.

pour les faibles déplacements des porte-balais. Le collier tourne sur un anneau fixe A portant des engrenages qui engrènent avec la vis tangente B lorsque le levier c est dans

(1) *The Electrical Review*, vol. 48, p. 605, 27 octobre 1899.

Digitized by Google

la position indiquée en trait plein. Si on déplace ce levier pour l'amener dans la position indiquée en pointillé, la vis tangente abandonne les engrenages et le collier peut être déplacé à la main lorsque le décalage à opérer est important par suite d'une variation considérable de la charge.

L'inventeur a imaginé un procédé quelque peu semblable qui est représenté sur la figure 23 et employé à la station centrale de Lancashire. Comme les décalages restreints doivent être opérés à une certaine distance de la machine, le volant E agit sur un écrou qui se visse ou se dévisse sur une tige F commandant la manœuvre du collier.

Lorsqu'un déplacement important est nécessaire on fait sauter la tige qui abandonne le goujon qui la retient et le réglage s'effectue en agissant directement à la main sur le collier. La tige F est ensuite remise en place par une rotation convenable du volant E.

L'article de M. Scott contient aussi quelques

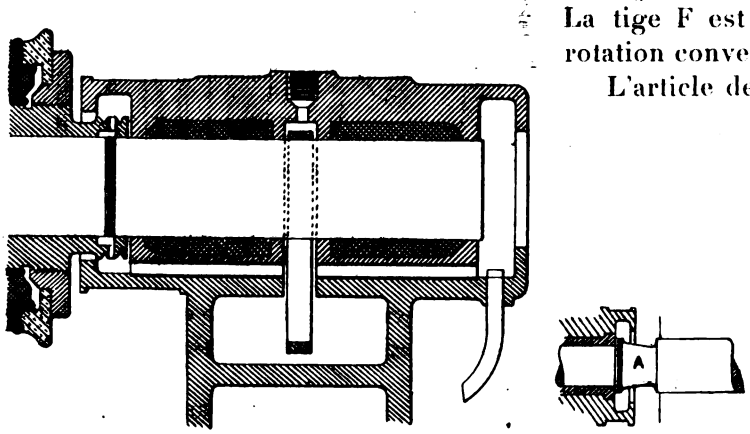


Fig. 24 et 25. — Palier Scott et dispositif pour empêcher les projections d'huile sur le collecteur.

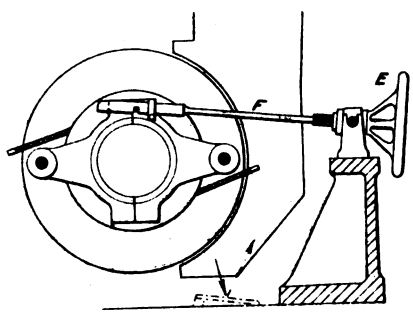


Fig. 23. — Dispositif de décalage des balais de Scott.

détails sur les paliers au point de vue des dispositifs employés pour empêcher l'huile d'arriver sur le collecteur. On obtient un très bon résultat avec le dispositif de la figure 24 où un anneau portant une rigole est serré sur l'arbre et constitue un prolongement du support du collecteur.

Comme l'huile tend à remonter sous l'action de la force centrifuge, on peut à la rigueur se contenter de donner à l'arbre une forme conique, comme le montre la figure 25, mais cette disposition peut avoir un inconvénient au point de vue mécanique par suite de la diminution du diamètre de l'arbre en dehors des tourillons.

M. Scott indique finalement un système de palier analogue à ceux employés par MM. Johnson et Phillips et beaucoup de constructeurs et adopté de préférence dans les dynamos à deux pôles ou les petites machines multipolaires dans lesquelles le collier des porte-balais est porté par le palier lui-même. Ce dispositif est montré sur les figures 26 à 27, la seule particularité qu'il présente est l'emploi de chaînes au lieu de bague pour le graissage, emploi assez fréquent en Angleterre (alternateurs Mordey) et en Allemagne (1).

Dans un autre article (2) M. Scott décrit un type de dynamo pour faible tension, c'est-à-dire pour électrolyse ou électrométallurgie. Cette dynamo (fig. 28) rappelle celles bien connues « sans collecteurs » de Siemens et Halske avec cette différence que les pôles internes sont à bobine centrale, disposition qui permet de réduire considérablement le poids

(1) Voir G. Kapp. Constructions électro-mécaniques, p. 70. Baudry et Cie, éditeurs, Paris.

(2) *The Electrician*, vol. XLIII, p. 904, 20 octobre 1899.

Digitized by Google

de l'inducteur et qui a déjà été employé pour des petits moteurs pour automobilisme et en particulier par la Société des voitures automobiles Bouquet, Garcin et Schivre.

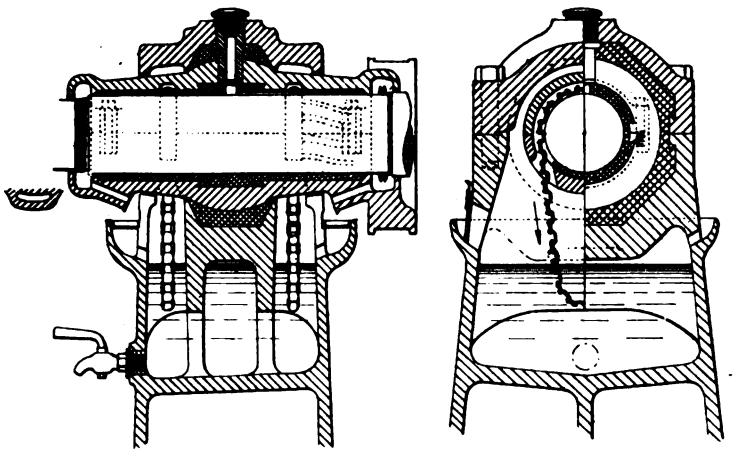


Fig. 26 et 27. — Coupes d'un palier à chaînes.

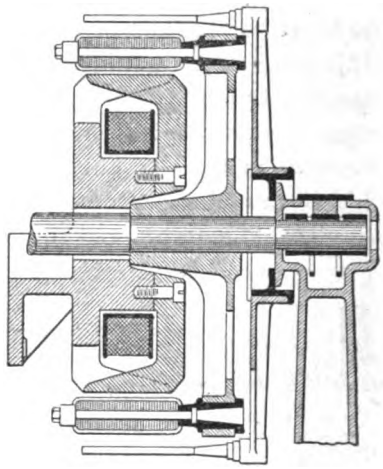


Fig. 28. — Coupe d'une dynamo Scott à bobine inductrice unique.

Le type de machine pour faible tension de M. Scott permet d'obtenir une très large surface de contact des balais et par suite rend possible l'utilisation de balais en charbon beaucoup moins coûteux que les balais métalliques.

C.-F. GUILBERT.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

APPLICATIONS THERMIQUES

Fers à souder électriques.

Pour la soudure des boîtes en fer blanc, comme les boîtes de conserves, on emploie ou bien des fers à souder ordinaires ou bien des carreaux métalliques sur lesquels on fait glisser les fonds des boîtes à souder après y avoir mis au préalable la soudure nécessaire. Ces derniers appareils sont très commodes, mais ils doivent être de dimensions appropriées à celles des boîtes, et, le plus souvent, pour éviter l'achat de nombreux carreaux, on emploie, lorsqu'on a différents types de boîtes à souder dans un même atelier, des carreaux correspondant au type le plus grand. Il en résulte une perte de chaleur qui se traduit par une consommation anormale de l'agent de chauffage, gaz ou électricité.

Le dispositif FOUCHÉ (1) remédie à cet inconvénient en séparant le carreau en plusieurs parties que l'on peut chauffer à volonté au moyen de l'électricité. La plaque de chauffe est constituée par une série de barreaux creux contenant les résistances de chauffage.

Les résistances Fouché sont formées de plaques sur lesquelles sont disposés en sinuosités quelconques ou en spirales des fils, pris en double pour éviter les effets d'induction (fig. 2). Elles peuvent aussi être obtenues (2) en enroulant des fils métalliques sur un carton d'amiante B (fig. 4) de manière à former une bobine plate qui est ensuite enveloppée d'un isolant incombustible tel que le mica; logée dans une boîte plate A (fig. 1 et 3), elle forme boîte ou plaque chauffante suivant que les deux faces de cette boîte ou bien une seule sont métalliques.

Deux plaques *électrothermiques* A et A_1 logées dans leurs boîtes B et B_1 et placées de chaque

(1) Brevet français n° 265149, 1897.

(2) Brevet français n° 276954, 13 avril 1898.

Digitized by Google

côté d'une lame de cuivre G constituent un fer à souder (fig. 5 et 6), dont la lame, maintenue

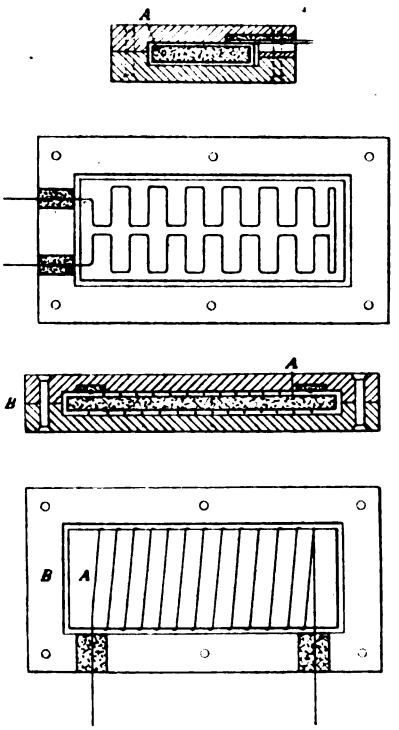


Fig. 1 à 4. — Plaques électrothermiques Fouché.

par une vis de pression, est facile à remplacer. Au lieu de deux boîtes, on peut n'en employer

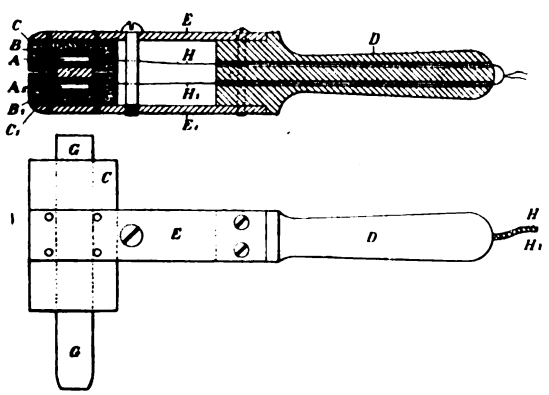


Fig. 5 et 6. — Fer Fouché à boîtes chauffantes latérales.

qu'une munie d'un prolongement dans lequel est serrée la lame G du fer à souder (fig. 7 et 8).

L'avantage revendiqué par l'inventeur est que le fil enroulé sur un isolant souple peut se dilater sans crainte de rupture ; de plus la lame du fer à souder, maintenue simplement entre deux plaques chauffantes, peut être remplacée à volonté, ce qui est d'une utilité incontestable.

Pour augmenter la puissance de ces appareils, on peut loger des résistances élémentaires dans les rainures d'un bloc métallique formant *bloc électrothermique* (1). L'emploi de ces résistances

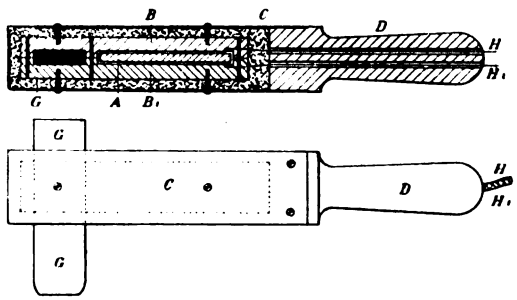


Fig. 7 et 8. — Fer Fouché à boîte de chauffe en bout.

n'est d'ailleurs pas limité aux seuls fers à souder, il s'étend à tout appareil de chauffage ; on peut, en effet, former des blocs au moyen de résistances élémentaires séparées par des lames métalliques isolées ; l'ensemble constitue des *résistances feuilletées* applicables aux calorifères, ou aux rhéostats, si on les munit d'un distributeur permettant d'en mettre un nombre variable en circuit.

Pour en revenir aux fers à souder, l'inventeur a proposé une disposition qui se rapproche plus de celles des modèles ordinaires (2). Un bloc cylindrique C (fig. 9) porte à sa surface des rainures longitudinales dans lesquelles sont logées des résistances élémentaires H. Ce cylindre est creusé suivant l'axe d'un canal conique dans lequel vient s'emboîter la lame du fer à souder qui présente elle-même une partie conique. Cette disposition a l'avantage de faciliter l'ajustage des pièces et d'assurer un excellent contact au point de vue thermique. Le bloc chauffant est entouré d'une matière isolante incombustible et le tout est logé dans une enveloppe métallique F formée de deux parties qui s'assemblent suivant un diamètre (fig. 10 et 11). Le tout est assujetti par des vis taraudées dans le bloc cylindrique à un épanouissement qui termine la tige creuse E du manche B.

(1) Certificat d'addition n° 276954, 29 juillet 1898.

(2) Certificat d'addition n° 276954, 16 février 1899.

****

Digitized by Google

Le fer à souder de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft est une utilisation au moins originale de l'arc électrique en vase clos. Cette société a déjà appliqué l'arc électrique au chauffage de différents appareils et en particulier aux fers à repasser (1) ; l'inconvénient de ce système est dans le réglage de la chaleur émise par le courant.

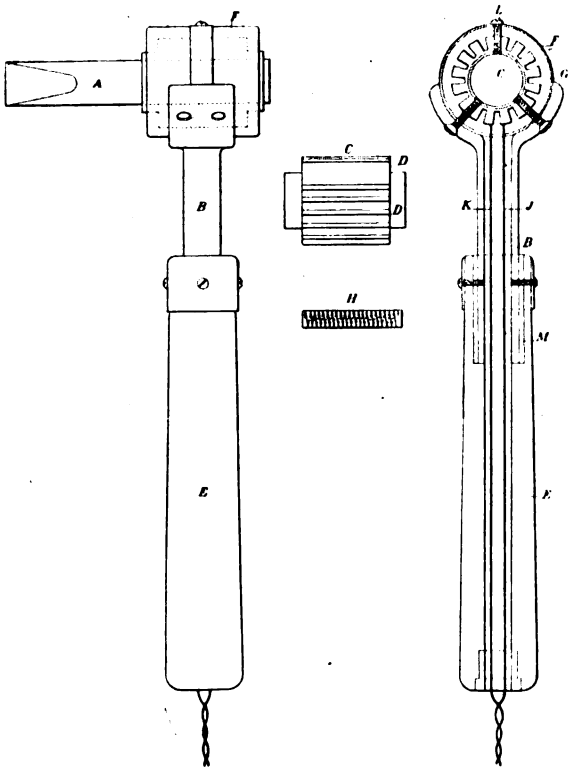


Fig. 9. — Bloc électrothermique.

Le nouveau fer à souder est constitué par un cylindre creux, fermé d'une part par le prolongement de la lame du fer à souder et d'autre part par un porte-charbon ; l'arc s'établit entre le charbon et le cuivre électrolytique qui forme la lame de l'appareil et l'usure produite ainsi à l'abri de l'air est à peu près négligeable. Quand l'appareil ne fonctionne pas, le charbon est à quelques millimètres du cuivre ; pour établir l'arc on presse sur un petit ressort qui enfonce le charbon et lui fait toucher le cuivre, le ressort écarte alors le charbon et l'arc jaillit. Ce système consomme un assez grand nombre d'ampères, mais il ne demande guère que 35 volts ; c'est en somme un inconvénient pour les voltages usuels, si l'on n'a pas plusieurs appareils à faire fonctionner simultanément de façon à les mettre en série.

Dans le fer à souder Stolz et Schindler-Jenny (2), le chauffage est obtenu par un fil métallique généralement en platine maintenu par une carcasse réfractaire et isolante, telle que l'argile ; le côté intéressant de l'appareil est dans le montage des différentes pièces où les inventeurs ont cherché aussi à rendre la tête du

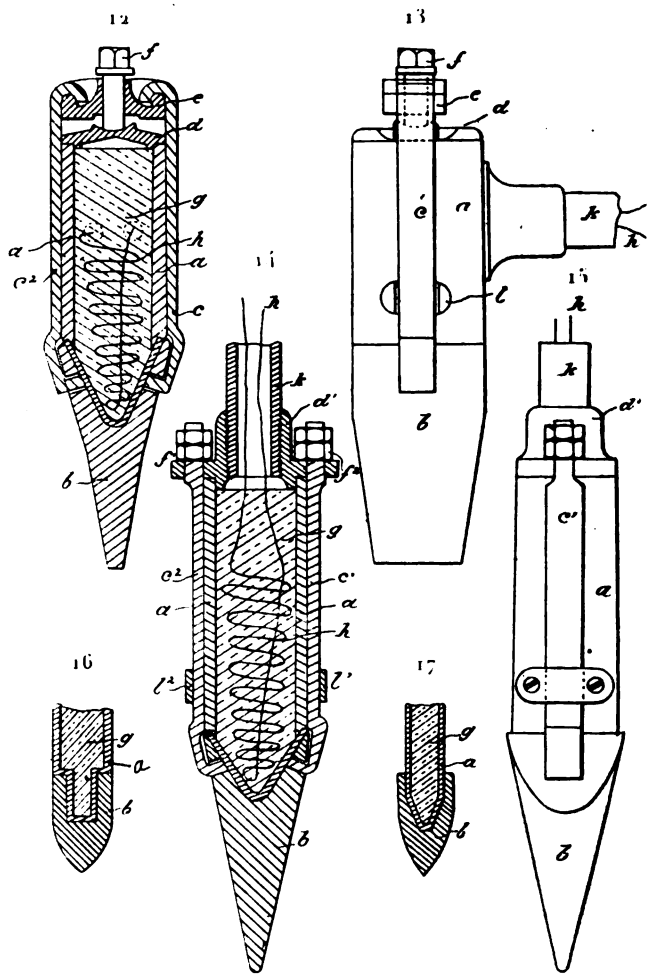


Fig. 10 à 16. — 10, 11, Fer Fouché à bloc cylindrique électrothermique ; 12, 13, Fer à marteau Stolz et Schindler-Jenny ; 14, 15, Fer à pointe Stolz et Schindler-Jenny ; 16, 17, Liaisons diverses de la boîte de chauffe et de la tête du fer à souder Stolz et Schindler-Jenny.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 75.

(2) Brevet fançais, n° 241981, 10 octobre 1894.

Digitized by Google

fer aisément remplaçable. Le facile démontage de la tête du fer est en effet indispensable dans les industries de soudure, où l'on est obligé au moins une fois par jour de retirer la pièce pour la battre.

Les figures 12 et 13 représentent un fer à marteau et les figures 14 et 15 un fer à pointe. La boîte métallique chauffante est fermée par le couvercle d (fig. 12 et 13) ou d' (fig. 14 et 15) et terminée du côté de la tête du fer par un coin creux ou une pointe creuse sur laquelle viennent s'appliquer intimement les parois de la cavité creusée dans la tête b. Un des assemblages préconisé consiste dans l'emploi de pinces c^1 et c^2 qui s'engagent par leur crochet dans la tête b et sont serrées soit par l'écrou f (fig. 12 et 13) qui écarte les pièces d et e, soit par les écrous f^1 et f^2 (fig. 14) qui s'appuient sur le couvercle d'.

D'autres formes du fond de la boîte de chauffe peuvent encore être avantageusement employées (fig. 16 et 17).

Malgré toute l'ingéniosité de ces différents systèmes, on n'est pas encore parvenu à une forme pratique du fer à souder permettant le remplacement rapide de la tête et il est à souhaiter qu'à l'Exposition prochaine nous puissions enregistrer un progrès définitif dans cette voie.

G. Goisot.

Interrupteur automatique pour appareils de cuisine électrique de F.-W. Schindler-Jenny. Addition 107 956 au brevet allemand 100 830 (27 mars 1898) en date du 10 janvier 1899, accordée le 6 janvier 1900.

La plupart des appareils de chauffage construits par la Société Grimm, qui exploite les brevets Schindler-Jenny, ne sont garantis que si la tension pour laquelle ils sont construits n'est pas dépassée de plus de 5 p. 100. Dans un récent brevet, Schindler-Jenny indique un procédé de disjonction automatique du circuit lorsque, pendant la marche à vide par exemple, la température dépasse la limite de sécurité. Le dispositif coupe le circuit mais il met en même temps l'appareil momentanément hors d'usage. Celui-ci n'est pas détruit et il ne nécessite qu'une réparation de peu d'importance.

Le corps de chauffage b est fixé à la paroi inférieure du vase de cuisine a, une petite région au centre est laissée à découvert. Une pièce métallique c est soudée à cet endroit, elle forme la tête d'une vis d de matière isolante. Un écrou e de matière conductrice vient s'appliquer sur le bord f d'un anneau métallique relié à une des extrémités du fil qui traverse le

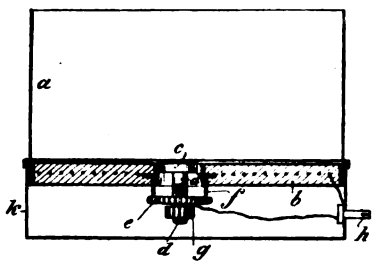


Fig. 1.

corps de chauffage ; un contre-écrou g serre le fil qui vient de la fiche h. La partie inférieure de l'appareil est munie d'une enveloppe k. Pendant la marche à vide, le fond de l'appareil s'échauffe et la soudure fond, la pièce métallique se sépare et rompt le circuit en f.

G. Goisot.

Four électrique de la Electric Reduction Co. à résistance de chauffage pour obtenir la fusion et les réactions chimiques Brevet allemand n° 107 736, en date du 4 février 1898, accordé le 9 janvier 1900. Brevet anglais 4819, déposé le 26 février 1898, accepté le 7 janvier 1899.

Dans les méthodes habituelles où l'on utilise l'énergie électrique pour le traitement chimique, on produit l'arc ou l'on transforme l'énergie en chaleur, soit en utilisant les corps de la réaction comme résistance de chauffage soit en se servant de résistance en contact avec ces derniers.

Lorsque l'on emploie l'arc électrique, la combustion des électrodes et la modification dans la conductibilité résultant des changements dans les propriétés des gaz qui se dégagent sont autant d'inconvénients. En outre, la vaporisation du carbone vient nuire à la pureté des produits, la température ne peut être réglée à volonté, elle est généralement trop élevée à l'endroit de l'arc et dans tous les cas présente une distribution extrêmement irrégulière.

Lorsque l'on utilise l'effet Joule, la résistance sous forme de grains ou de minces bâtons de charbon est en contact intime avec le mélange que l'on veut chauffer. Dans le cas de résistance

Digitized by Google

en grains de charbon, le contact avec les corps de la réaction produit son oxydation ; en outre, le charbon se mêle au produit et nuit à sa pureté. Enfin, la division du charbon donne naissance à une quantité de petits arcs qui occasionnent une vaporisation du carbone, et les modifications qu'éprouve une résistance de cette sorte exigent un réglage continuel.

Dans une autre disposition, la résistance employée est constituée par de minces baguettes de charbon plongées dans le mélange ; elles permettent le passage du courant au début de la réaction et sont rapidement consommées ; à leur place un arc se produit à moins que le courant ne passe à travers la masse fondue. Ce dernier cas présente de nombreux inconvénients, entre autres l'interruption du courant par le dégagement des gaz.

L'emploi du mélange même comme résistance de chauffage est très limité, il nécessite en effet que la conductibilité de ce mélange soit relativement faible, ce qui exclut déjà son application au cas des métaux ; en outre, l'instabilité de la valeur de la résistance est fort désavantageuse.

On a proposé aussi le chauffage par résistance non interrompue, formant par exemple la paroi du four ; le contact produit encore l'oxydation de la résistance et souille le produit, sans compter que les courts-circuits sont particulièrement à craindre dans ces conditions. On emploie souvent dans ce cas des métaux comme résistance de chauffage, ce qui ne permet pas d'obtenir de température très élevée.

La Reduction Electric C° a mis en usage un dispositif qui semble présenter de sérieux avantages sur les précédents ; le four qu'elle emploie est en quelque sorte un four à réverbère. La résistance du chauffage est constituée par des barreaux de charbon dont les extrémités sont tenues dans des blocs de charbon fixés à la paroi du four. Ces barres sont disposées au-dessus du mélange à chauffer (fig. 1 et 2) et rayonnent la chaleur vers lui, la partie de la chaleur rayonnée vers la paroi supérieure est renvoyée en bas par la voûte. Le charbon est complètement hors de contact avec la matière de la réaction, que celle-ci soit solide ou fondue, et ne peut en aucun cas souiller le produit comme cela a lieu dans les fours à arc. Le dégagement de chaleur est parfaitement réglable entre toutes limites ; le passage régulier du courant n'exige pas de surveillance continue ; enfin, la température quoique très élevée est répartie bien uniformément dans le mélange en réaction et celui-ci ne peut être soumis à une température exagérée en certains points et insuffisante en d'autres points voisins. La réaction peut avoir lieu sans interruption car les charbons ont une durée considérable et l'on peut faire arriver d'un côté les corps qui doivent réagir et recueillir les produits de l'autre.

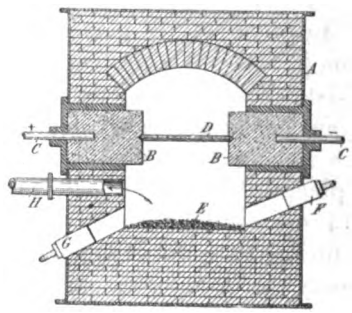


Fig. 1. — Four de la Electric Reduction C° (Coupe verticale).

La figure 1 représente la coupe verticale d'un tel four, la figure 2 la coupe horizontale suivant le plan des charbons dans un four à résis-

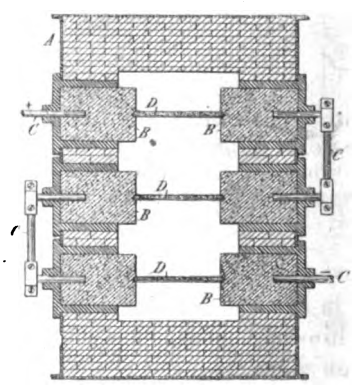


Fig. 2. — Coupe horizontale.

tances multiples. Les fours sont construits avec des matières réfractaires, avec toit en forme de voûte. Dans les parois opposées sont fixés des blocs de charbon B entre lesquels sont disposées les barres de chauffage D. Les blocs B sont réunis entre eux et à la source d'électricité. La matière E repose immédiatement sur la sole du four, elle peut être introduite en F tandis que les produits sortent en G ; H est un tube pour le dégagement des gaz qui peuvent être

Digitized by Google

utilisés à leur tour. La disposition des résistances en service est évidemment plus avantageuse que celle des arcs électriques.

G. Goisot.

L'électrosidérurgie, par **L. Belloc**. *L'Elettricista*, p. 3, janvier 1900.

Un intéressant historique de l'application de l'électricité à la métallurgie du fer vient d'être récemment publié par l'ingénieur Belloc, nous en détachons ici les principaux passages.

Une première application de l'électricité à la sidérurgie a été faite à propos du triage magnétique des minerais de fer. En 1852, Chénot fit construire par Froment un électro-aimant destiné à séparer le fer réduit spongieux des scories qui l'accompagnaient. Peu après, en 1854, Quintino Sella fit construire par le même mécanicien des trieurs qui furent employés pendant plus de trente ans à séparer l'oxyde de fer de la calcopyrite, dans la mine de Traversella (Turin).

A l'Exposition de Paris en 1881, figurèrent quatre trieurs dus à Varin, Edison, Siemens et Chénot aîné. A partir de cette époque d'autres machines furent construites, parmi lesquelles celle de l'ingénieur Erminio Ferraris, présentée à l'exposition de Turin en 1898 et qui est employée aux mines de Monteponi pour séparer l'oxyde de fer d'une matière contenant 26 p. 100 de minerai de zinc et 10 p. 100 de peroxyde de fer. D'autres dispositions ont été décrites en 1894 dans la *Zeitschrift für Elektrochemie*.

Une application plus importante de l'électricité est celle qui a été faite à la production et à la fusion des produits métallurgiques. Le four électrique a son origine dans les expériences de Van Marum qui, vers la fin du siècle dernier, avait employé les décharges des puissantes machines du musée Teyler de Harlem pour réduire certains oxydes. Viennent ensuite les expériences de Davy en 1807, Pepys en 1815 qui produisit l'acier par carburation du fer, Depretz en 1849, Children, Grove, Joule et Thomson en 1856.

Le premier four électrique véritable fut celui de Pichon et son auteur avait principalement en vue la production du fer comme en atteste le titre du brevet français n° 15880, 16 mars 1853 : application économique et générale de la lumière électrique à la métallurgie et principalement à celle du fer. Le même dispositif se trouve dans le brevet anglais n° 700, 22 mars 1853, pris par Johnson.

Plus tard, l'anglais Monckton (B. P., n° 264, 31 janvier 1862) indique la réduction et la fusion par l'électricité ; la même année il indique la carburation électrique pour obtenir l'acier (B. P. n° 1153, 21 avril 1862). Viennent ensuite Morris avec Weare et Monckton (B. P., 1516, 19 mai 1862), Monckton (B. P., 2549, 17 octobre 1863), Wilde (B. P., 1412, 23 mai 1865).

Les conditions de production de l'électricité à cette époque ne permettaient pas de réaliser utilement les appareils imaginés. Aussi faut-il attendre jusqu'à 1878 pour trouver de véritables applications de l'électricité à la sidérurgie : Lane Fox (B. P., 4043, 1878), E. Edwars (B. P., 4611, 1878), Lontin et Bertin, puis enfin Ch.-W. Siemens qui présenta à l'Exposition de Paris en 1881 un creuset électrique. Il convient de rappeler que Borchers en 1880 avait annoncé qu'à l'aide d'un four de laboratoire on peut réduire tous les oxydes avec un excès de charbon.

En 1886, W. Maxwell propose un creuset de fusion (B. P., 12117, 1886) où l'opération a lieu en présence de gaz inertes ; dans la même année paraît le four de Menges (B. F., 173649 et D. R. P. 40354). Comme hauts fourneaux citons, quoiqu'ils n'aient présenté aucune utilité pratique, le type indiqué par W. Cross (B. P., 9017, 1888) et la forme analogue de I. Reuleaux (B. F., 194944).

Taussig, pour la fusion à l'abri de l'air, propose un appareil avec creuset de fusion (D. R. P., 52650, 3 décembre 1889 ; B. P., 12475 de 1890 et 6323 de 1891 ; D. R. P., 65592, 10 décembre 1891).

Shaw et Allis (U. S. A. P., 504282, 24 août 1891) indiquent un four à cuve pour la fusion de la fonte. L'appareil dont la partie inférieure est représentée par la figure 1 a un étranglement vers la base, et c'est là que sont placées les électrodes de charbon, poussées vers l'intérieur à mesure qu'elles se consomment par l'action d'un contrepoids agissant sur une bobine qui engrène avec la crémaillère du porte-électrode. Quand la résistance entre les électrodes augmente le courant agit sur un électro en série qui attire un petit noyau et rend libre une roue dentée fixée sur l'axe de la bobine susdite. La matière chargée par en haut est fondue entre les électrodes et passe dans la partie inférieure sur

Digitized by Google

une sole mobile constituée par deux plaques métalliques revêtues de matières réfractaires et réunies à charnières au bâti du fourneau, et

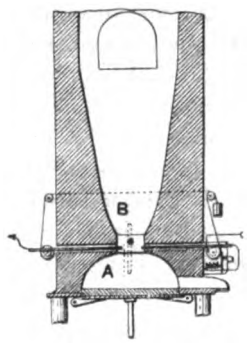


Fig. 1. — Four à cuve Shaw et Allis (1890).

maintenues horizontales par un support. Dans une modification de ce four, deux tubulures pratiquées dans la paroi permettent aux gaz chauds de passer de A en B pour utiliser une partie de la chaleur perdue.

En 1891 Shaw (U. S. A. P., n° 504308) applique un four analogue au précédent au traitement des minerais de fer. L'appareil a encore deux compartiments A et B mais la partie B est cylindrique et terminée à la base par une calotte hémisphérique, et c'est à l'endroit où commence cet hémisphère que se trouvent les électrodes.

Les dispositions de Kreinsen (U. S. A. P., n° 513270; B. P., 15477, 1892; B. F., 224270) ne peuvent être considérées comme industrielles et sont aptes tout au plus à la fusion des métaux précieux.

Carlo G.-P. De Laval a présenté un fourneau qui a reçu une application industrielle (D. R. P., 80462; B. P., 15793, 1892). De Laval propose pour rafliner par fusion les métaux et particulièrement le fer l'appareil représenté en figure 2. L'espace de fusion d'un four à cuve est divisé en deux parties par un pont réfractaire P qui peut être refroidi intérieurement par un courant d'eau. Dans la partie inférieure des cavités sont les deux conducteurs A et B, au-dessus se rassemble la matière qui se rafline tandis que la résistance de chauffage est formée par un oxyde ou autre matière convenable (un sous-oxyde dans le cas du fer). Le courant est alternatif pour éviter l'électrolyse; la matière affinée sort par les siphons latéraux C D et les scories par un déversoir E.

Pour le grillage des métaux, R.-E.-B. Crompton et H.-J. Dowsing ont proposé un four électrique (B. P., 259, 1893), ayant la forme d'une tour carrée dans laquelle la matière tombe sur des diaphragmes alternativement inclinés dans un

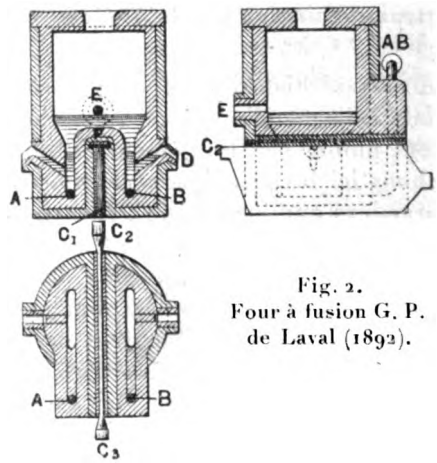


Fig. 2.
Four à fusion G. P. de Laval (1892).

sens et dans l'autre, de manière qu'elle parcoure un long trajet sur ceux-ci qui lui cèdent de la chaleur. Ces diaphragmes sont constitués par des lames réfractaires renfermant des fils métalliques en zig-zag parcourus par un courant électrique.

Pour obtenir la fusion sans soufflures, Taussig (B. P., 3503, 1893) opère la coulée dans un tube qui conduit le métal dans un creuset réfractaire renfermé dans une caisse métallique où l'on fait le vide; le métal est maintenu quelque temps liquide à l'aide d'un courant électrique qui pénètre par une électrode verticale, traverse le métal et sort par la paroi du creuset. Ces appareils ont été employés dans une usine de Copenhague.

Le même auteur propose un four (fig. 3) pour remplacer le Siemens à récupération par le procédé Martin (B. P., 3573, 1893, D. R. P., 72129). On chauffe le métal à affiner ou le minerai à réduire dans une atmosphère convenable en se servant de lui comme résistance électrique. A cet effet la partie supérieure du four est fermée et munie d'une tubulure B par laquelle on produit l'atmosphère voulue, ou bien l'on fait le vide. Deux tiges métalliques A reliées à la dynamo portent le courant à un gros bloc de charbon C qui sert de résistance de chauffage. A gauche du creuset est la gorge D et un espace R destiné à recueillir les produits de fusion, en soulevant la paroi P sans introduire d'air. Suivant

Digitized by Google

Borchers ce fourneau ne satisfait pas aux conditions requises pour obtenir le fer brut ou affiné.

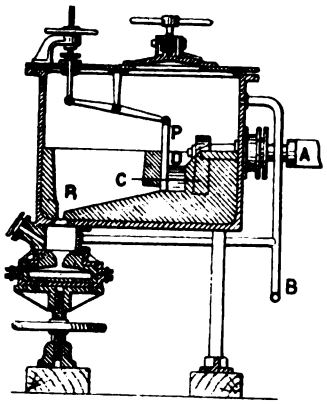


Fig. 3. — Four Taussig (1893).

Dans le fourneau à creuset de B. Howart (B. P., 6000, 1894) destiné à fondre la fonte, l'acier et leurs alliages, un gros cylindre revêtu de matière réfractaire est fermé par un couvercle muni d'une tubulure verticale ; le creuset occupe la partie supérieure du cylindre, au-dessous l'arc éclate entre des électrodes de charbon. Le métal fondu dans le creuset coule par une ouverture et tombe dans l'arc formé par une deuxième couple d'électrodes placée à côté de la première ; le métal devient plus fluide et se rassemble à la partie inférieure du cylindre, d'où on le retire en ouvrant la sole.

Le four électrique de R. Urbanitzky et A. Fellner (D. R. P., 77125 ; B. P., 6965, 1893) est un four à cuve, destiné, entre autres, à fondre les minerais de fer et à produire l'acier. La partie basse du four ou laboratoire est revêtu d'un mélange de dolomie et de magnésie calcinée, comme le convertisseur Bessemer. La cathode est constituée par la sole de charbon *a* (fig. 4) placée sur une plaque de cuivre unie à la dynamo par un conducteur vertical, protégé par un tube réfractaire dans le voisinage de la sole. Au-dessus, sont quatre électrodes positives en charbon ; elles sont inclinées et formées par la réunion de plusieurs lames. Le courant doit passer quelquefois entre les quatre électrodes puis entre elles et la sole pour éviter le collage des électrodes supérieures. Pour produire l'acier avec cet appareil, il suffit de fondre le fer et de lui ajouter du *spiegel* jusqu'à obtenir le pourcentage désiré.

Les mêmes auteurs ont proposé un four de fusion (D. R. P., 82164 ; B. P., 7265, 1895) où les électrodes font un angle de 20° avec la verticale et sont refroidies à leur entrée dans le four par un appareil à circulation d'eau.

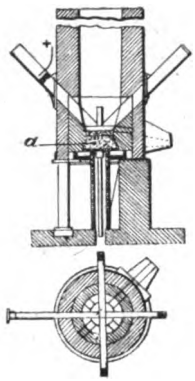


Fig. 4. — Four Urbanitzky et Fellner (1893).

Wikström (D. R. P., 76606), pour obvier à l'inconvénient que la fonte n'est pas suffisamment fluide dans les convertisseurs pour l'obtention du fer doux ou de l'acier, a indiqué le

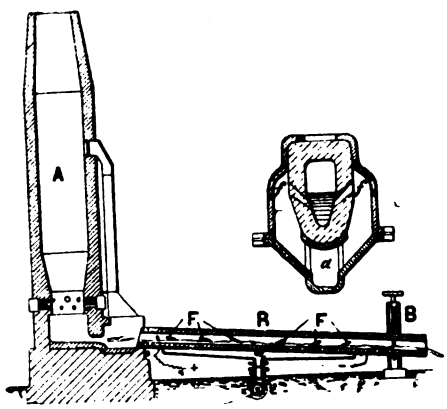


Fig. 5. — Four convertisseur Wikström (1893).

four représenté en figure 5. La fonte sort du fourneau A et coule dans un canal R dont la pente varie à l'aide du mécanisme B ; la décarburation a lieu pendant ce passage ; le canal R est formé par un corps réfractaire non conducteur dans lequel débouchent de nombreux tuyaux *f* qui amènent de l'air comprimé. La fonte est maintenue liquide par le passage du courant.

Le brevet américain 1895 de J. Rossi donne un procédé pour obtenir les alliages de fer et de titane en fondant dans un creuset un mélange de

Digitized by Google

fer, d'acide titanique et d'un peu de charbon. Le four est en quelque sorte un four Moissan.

L'appareil de fusion de M.-R. Conley (U. S. A. P., 558357) est formé d'une grande caisse rectangulaire, en matière mauvaise conductrice et renfermée pour éviter les pertes de chaleur; le courant est amené par trois couples de supports, munis d'un revêtement à circulation d'eau froide.

Giuseppe Heibling (B. P., 18487, 1896 et brevet suisse, 11175) propose un four à cuve revêtu de charbon, l'arc se forme à l'intérieur entre l'anode constituée par une longue tige de charbon disposée suivant l'axe et la cathode formée par une plaque de fonte qui repose sur la sole de charbon ; cette dernière est mobile pour la décharge et communique électriquement avec la paroi de charbon. L'électrode verticale devrait avoir de trop grandes dimensions pour que le système fût pratique soit dans la construction soit dans la manipulation par suite de la crainte de rupture qui, causant une interruption, produirait une perte de temps et de chaleur.

Le four à réduction de Hudson Maxim (B. P., 1905, 1896) ne semble pas avantageux. L'atmosphère est produite par l'air ou un gaz convenable préalablement réchauffé par son passage à travers deux hautes colonnes de matière réfractaire (une de chaux, l'autre de charbon) rendues incandescentes par des résistances électriques.

Le four R. Pictet destiné à la fabrication du carbure de calcium (B. F., 255914) est un four à cuve dans lequel le réchauffement préalable de la matière est fait à l'aide de tuyères qui apportent de l'air chaud ; la fusion obtenue à la partie inférieure avec l'arc électrique pourrait peut-être s'appliquer aux minerais de fer. On reviendrait ainsi à la forme de Shaw, déjà mentionnée. Du reste, l'emploi de l'air chaud pour réchauffer d'abord les matières à traiter dans le four électrique a été déjà prévu par Minel (1887) et par Crompton (1889).

Borchers a indiqué comment on pourrait adapter le fonctionnement électrique à un four à cuve, en particulier à celui du type Rachette (fig. 6). La sole a un foyer rectangulaire à bords légèrement incurvés formant une conque allongée ; on peut utiliser, comme résistance, la sole même ou la masse de matière placée au-dessus. Les électrodes sont des blocs de charbon fixés à des pistons qui peuvent être refroidis ; quand un charbon est consumé, on tire le piston et l'on abaisse une paroi qui s'introduit entre lui et le charbon consumé, on ouvre alors un couvercle de la caisse de fonte qui contient l'électrode, on

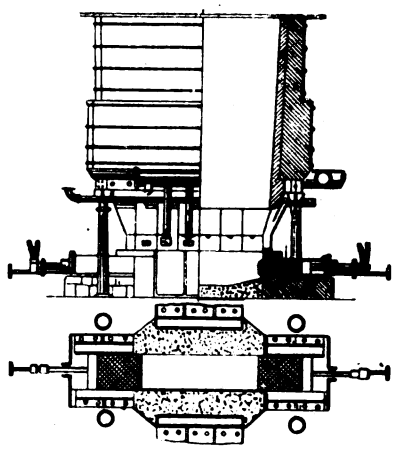


Fig. 6. — Four à cuve Borchers.

remplace le bloc de charbon, ferme le couvercle, élève la paroi et repousse le piston ; les différentes parties étant métalliques on n'a pas interrompu le courant pendant le changement.

Dans l'appareil de F.-H. Soden (U. S. A. P., 590673) le minerai est chauffé par le moyen de l'électricité et assujetti pendant ce temps à l'action de la vapeur ou de l'air surchauffé, puis à celle de l'hydrogène gazeux, de façon à enlever les impuretés, le soufre et le phosphore entre autres. C'est un autoclave revêtu de matière réfractaire représentant un prisme à axe vertical et section droite hexagonale ; sur une grille placée à la partie inférieure on dispose le minerai, au-dessus une deuxième grille ou diaphragme empêche le déplacement du minerai pendant l'introduction des gaz surchauffés. Le courant est amené dans la masse par trois séries de tiges de platine ; les gaz sortent par un tube supérieur; en haut et de côté est une porte pour la charge. L'appareil ne semble présenter aucun intérêt pratique.

La figure 7 représente le schéma du four électrique du capitaine E. Stassano (brevet italien, 47476; B. P., 11604, 1898; brevet suisse, 17523) pour la réduction des minerais de fer. C'est un four à cuve dont la paroi est revêtue de lames de fer, l'arc éclate en C, le mouvement des électrodes est produit à la main au moyen du volant M. Le fourneau est fermé par un couvercle, au voisinage sont deux ouvertures *e* pour la sortie des gaz de la réaction qui traversent

Digitized by Google

d'abord une fermeture hydraulique G. La charge est faite par des petites pièces de 3 à 4 cm de

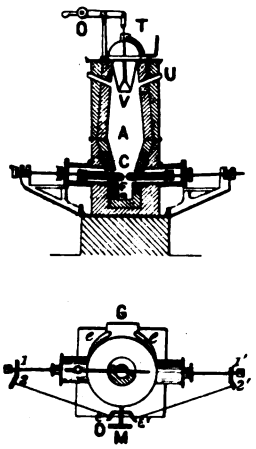


Fig. 7. — Four électrique à cuve Stassano pour la réduction des minerais de fer.

côté obtenues en comprimant à 150 ou 200 kg par cm² un mélange de carbonate de fer, de charbon et un peu de goudron. Avec 1800 ampères sous 50 volts on obtient 30 kgr de métal à l'heure. Ce système est appliqué dans l'établissement Bonara Cy Ltd à Darfo en Lombardie.

Pour terminer ce rapide aperçu, il reste à citer le brevet italien 51464 accordé à Corniani et Bertani pour une nouvelle méthode directe électrotechnique pour la production du fer et de l'acier. Les auteurs préparent d'abord un mélange de charbon et de minerai en proportion variable avec la nature de ce minerai. Le mélange est jeté dans la trémie H (fig. 8), tombe de là sur les parties L et L' de la sole à pentes différentes; la chaleur est produite là par la combustion sur la grille G; le minerai donne un fer spongieux à 1250 en L et 800 en L'. Les gaz chauds passent dans le réchauffeur R formé de tubes de fer (la température n'y dépasse pas 700°) et de là s'échappent par la cheminée. L'air chauffé en R est conduit par C à la sole et active la réaction. Le fer spongieux obtenu en L est

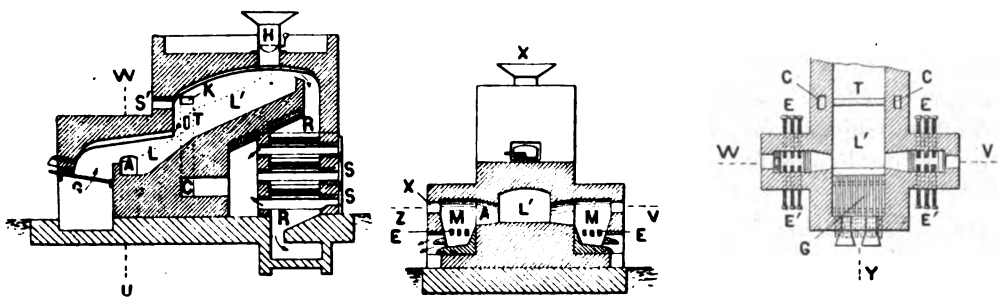


Fig. 8. — Four Corniani et Bertani pour la production du fer et de l'acier.

extrait par l'ouverture A et porté dans deux fours électriques M où il s'affine. Dans ces fours, l'échauffement est produit par des résistances formées d'électrodes E, de charbon, nickelées pour diminuer leur usure. Les scories sortent par F et le fer affiné par F'. On obtient aussi 1000 à 1500 kg de métal avec 1000 à 1500 chevaux et 250 à 400 kg de lithantrax; le courant qui convient est de 184 kilowatts à 80 ou 100 volts.

La cementation électrique a été, dans cet historique, complètement laissée de côté; les appareil proposés en effet jusqu'ici dans ce but n'ont aucune valeur pratique, néanmoins il ne semble nullement impossible d'obtenir de bons résultats et l'on connaît sur ce sujet les intéressantes expériences de Hillairet et Garnier publiées en 1894 dans l'*Engineering and Mining Journal*.

G. Goisot.

Sur les divers modes d'allumage électrique des moteurs à essence, par **A. Berthier.** Note communiquée par l'auteur.

L'allumage par incandescence est de plus en plus abandonné, la plupart des constructeurs d'automobiles ne le conservant que comme secours en cas d'accident. C'est l'étincelle d'induction qui règne en maîtresse dans le monde des chauffeurs. Non pas qu'elle donne toujours et partout des résultats absolument parfaits, il suffit d'ouvrir les oreilles pour être persuadé du contraire; — mais, malgré tout, c'est encore elle qui cause le moins de déboires. Divers procédés ont été employés tour à tour, avec un égal succès — c'est peut-être insuccès que l'on devrait dire. Piles, dynamos, accumulateurs ont été essayés et ont conservé des partisans convaincus.

Nous ne sommes guère partisan des piles,

Digitized by Google

qu'elles soient sèches ou humides. En effet, la plupart des fabricants annoncent pompeusement des capacités de 40, 50, 100 ampères-heure et des décharges de 4, 5, 8 ampères, alors qu'il ne s'agit que de valeurs beaucoup moindres. Ces données étaient peut-être exactes lorsque l'appareil sortait de l'atelier où il a été construit ; mais après un séjour de quelques semaines, quelques mois peut-être dans les magasins de vente, elles ne correspondent plus à la réalité.

La presque totalité des éléments employés appartiennent au système Leclanché ou à ses dérivés. On admet que cette pile ne s'use pas à circuit ouvert ; or, cela n'est pas rigoureusement exact, surtout lorsque les matières employées — et c'est le cas général — ne sont pas absolument pures. Le sel ammoniac renferme d'autres sels ammoniacaux, le zinc contient du plomb, etc. De plus, lorsqu'il s'agit de batteries à grande surface dans lesquelles l'électrode négative est représentée par un large cylindre de zinc ou même par une boîte de zinc tenant lieu de récipient extérieur, comme c'est le cas pour les piles « Etoile » et leurs variantes, il est évident que le zinc ne saurait être amalgamé ce qui le rendrait trop cassant. Aussi son attaque par le chlorhydrate d'ammoniaque est-elle moins régulière.

Les piles dites sèches présentent encore d'autres inconvénients assez sérieux ; la quantité de liquide actif emprisonné dans la matière poreuse (sciure de bois, en général) est trop faible et en été, pendant les grandes chaleurs, malgré l'herméticité apparente de la fermeture, l'évaporation s'effectue peu à peu et la résistance intérieure de l'élément croît sans cesse.

Il semble donc que l'on doive donner la préférence aux éléments dans lesquels une réserve d'eau permet de maintenir constamment l'électrode soluble dans le liquide actif.

Les nouveaux éléments *Columbus* en Suisse et *Hydra* en Allemagne appartiennent à cette catégorie de générateurs d'électricité. Le premier est caractérisé par la présence d'un tampon en feutre huilé placé à la partie supérieure du récipient. On obtient ainsi une excellente fermeture laissant passer facilement les gaz, mais retenant complètement le liquide ; bien que nommée improprement par ses constructeurs « Trocken-Element » cette pile renferme autant de solution active que les piles Leclanché à récipient ouvert. Elle est fabriquée par l'usine « Prométhée » de MM. Wierss et C° à Liestal, près de Bâle.

L'élément *Hydra* de la Hydra-Werke Krayn et Kœnig est caractérisé comme le précédent par une réserve de liquide ; il présente de plus une capacité élevée et une assez grande constance (1). Les piles Hydra et Columbus se font en trois grandeurs correspondant à des capacités de 50 à 90 ampères-heures et à des décharges (en court-circuit) de 8 à 15 ampères pour l'élément Hydra. On voit ainsi que l'on peut trouver des générateurs d'électricité susceptibles d'actionner le dispositif d'allumage des moteurs à benzine.

Toutefois, comme l'expérience prouve que l'intensité des piles diminue, en somme, très rapidement, lors même que la force électromotrice demeure sensiblement constante, il semble bien préférable d'employer les accumulateurs. Si l'on prend soin de les charger régulièrement et si on ne les surmène pas trop en les exposant à des décharges forcées, on en est extrêmement satisfait. A l'aide d'un petit voltmètre de poche gradué de 1 à 3 ou de 1 à 5 volts, on prend le voltage avant de partir ; on évite ainsi les ratés à l'allumage et par suite les pannes désagréables. Il existe un très grand nombre de types établis dans ce but par les divers constructeurs. Rappelons les Dinin, Fulmen, Blot. Les poids oscillent entre 1 et 15 kilogrammes pour une batterie de 4 volts. Nous nous servons même parfois d'éléments extra-légers de l'ancienne Société des accumulateurs légers qui ne pèsent guère plus de 150 grammes. Avec 3 éléments (6 volts), on obtient une étincelle superbe. Le poids total est inférieur à 500 grammes ; il est vrai de dire que la capacité est assez réduite et qu'il faut recharger après toute course un peu longue. Nous employons également des éléments du genre Fulmen, ceux de la Société germano-suisse de Fribourg. Leur prix est peu élevé et leur poids restreint (700 gr de plaques par élément pour le n° inférieur). Il existe donc sur le marché des batteries d'accumulateurs susceptibles de donner absolument toute satisfaction aux chauffeurs. La fermeture hermétique seule laisse parfois encore un peu à désirer ; il semble cependant qu'il soit facile de combiner un dis-

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 491, 30 déc. 1899.

Digitized by Google

positif analogue à celui employé dans de nombreux appareils de chimie ou même dans certaines bondes automatiques laissant libre passage au gaz tout en évitant absolument les projections de liquide acidulé. Une combinaison simple, robuste et efficace serait assurée du succès.

L'accumulateur, par définition même, n'engendre pas le courant ; il nécessite donc un appareil producteur d'électricité : piles ou dynamo. Disons en ce qui concerne les premières qu'un seul système nous paraît, nous ne dirons pas pratique et économique, ce serait faux, mais possible, c'est la pile au sulfate de cuivre.

On adoptera n'importe quel type, Daniell, Callaud, etc. Si l'on habite une contrée de vignobles, on aura le sulfate de cuivre à des prix assez bas et le cheval-heure ne coûtera guère que 3 ou 4 francs. Avec cette somme, on pourra gaver d'étincelles son moteur à benzine pendant de longues semaines.

Nous arrivons maintenant à la combinaison qui monopolise les sympathies de tous les vrais mécaniciens. Plus de piles, plus d'accumulateurs, plus de liquides ni de réactions chimiques : la machine seule et c'est assez. Cette solution, plus élégante que les autres est évidemment la meilleure; c'est malheureusement aussi la plus chère. Le moteur à benzine, actionnant la petite dynamo produit lui-même le courant nécessaire à l'allumage. Au départ, un dispositif spécial fonctionnant à la main permet d'obtenir la vitesse nécessaire à la production de l'étincelle. On sait d'ailleurs que les moteurs à essence ont besoin de cet effort extérieur pour le démarrage. On lance donc du même coup et le moteur et la dynamo.

Il ne faudrait pas croire que cette combinaison constitue une nouveauté; elle est vieille comme le ...siècle. En effet, dès 1801, Lebon, l'inventeur de l'éclairage au gaz, décrivait ainsi la machine à gaz, dans une addition à son brevet du 25 août :

« Dans le cylindre A s'opère la combustion du gaz inflammable, qui est introduit au moyen du tuyau B, tandis que l'air atmosphérique, nécessaire pour la combustion, y est refoulé par le tuyau C.... On sait qu'on peut déterminer l'inflammation par l'étincelle électrique même dans des vaisseaux fermés. On pourrait disposer une machine électrique qui serait mue par le moteur à gaz, de manière à répéter les détonations dans des instants dont l'intermittence pourrait être réglée et déterminée. »

La machine électrique dont il s'agit ici est évidemment une machine statique, les générateurs de courant magnéto et dynamo-électriques n'ayant été inventés que 50 ans plus tard. Quoi qu'il en soit, l'idée lancée par le pauvre Lebon a été reprise par divers constructeurs de moteurs à gaz tonnant (gaz d'éclairage, gaz pauvre, gaz de benzine, d'essence). On n'emploie plus les machines produisant l'électricité par le frottement, parce qu'en général, elles ne fonctionnent pas d'une manière très satisfaisante : elles sont fragiles, encombrantes, capricieuses même, subissant plus ou moins l'influence de la température et de l'état hygrométrique de l'air. On leur a substitué les petites magnétos ou dynamos à courant continu. Ces machines sont à tension relativement basse ; elles agissent sur l'hélice inductrice d'un transformateur. Comme on l'a dit, le plus grand inconvénient réside dans l'obligation où l'on est de les faire tourner à leur vitesse normale pour obtenir l'intensité de courant nécessaire à la production de l'étincelle dans le circuit induit de la bobine. On peut employer, pour obtenir ce résultat, un engrenage intermédiaire ou une transmission par chaîne dont la grande roue dentée est calée sur l'arbre actionné par la manivelle de mise en marche. Le mécanisme est alors un peu compliqué, car il est nécessaire de lui appliquer un dispositif spécial de débrayage. Il semble donc que ce système bien que parfait théoriquement ne puisse donner dans la pratique toute la sécurité désirable.

On a proposé une variante de ces méthodes représentant en somme un procédé mixte. Elle réside dans l'emploi d'une très petite batterie d'accumulateurs chargée constamment par une non moins petite dynamo. Le poids de l'ensemble peut être inférieur à celui d'une batterie ordinaire. Nous avons combiné dans ce but une machine minuscule donnant 1 kilogrammètre environ par seconde (1 à 2 ampères sous 5 à 6 volts) et ne pesant guère plus de 500 grammes; la batterie d'accumulateurs (2 éléments de 240 grammes) ne pesant pas 500 grammes ; le tout atteint à peine 1 kilogramme. En construisant un petit moteur d'un kilogramme et une batterie du même poids, on aurait un ensemble plus

Digitized by Google

robuste et plus léger, en somme que les piles (5 à 10 kg.) ou accumulateurs (4 à 12 kg) employés dans les voitures automobiles. Les accumulateurs n'intervenant que comme intermédiaire temporaire, doivent être conçus en vue de ce but particulier ; leur capacité peut être faible. Aussi sera-t-il préférable dans ce cas de les choisir du type Planté. Il ne faut pas oublier que la plupart des moteurs à essence sont munis de cames ne laissant passer le courant que pendant une fraction $\left(\frac{1}{10}\text{ à peu près}\right)$ du temps total. La consommation d'électricité est donc réduite dans la même mesure et comme la petite dynamo de charge tourne continuellement, il s'ensuit que l'intensité de courant qu'elle doit fournir peut être inférieure à celle fournie par les accumulateurs. Si ces derniers donnent par exemple 3 ampères à chaque contact, la petite dynamo peut ne donner que 0,6 à 0,7 ampère pendant le même temps. Si l'on dispose d'une bobine à trembleur vibrant continuellement, il est évident que la machine de charge doit être plus forte pour pouvoir suffire à la consommation de courant, devenue continue, d'intermittente qu'elle était dans le premier cas.

Certaines automobiles de la maison Mors sont munies pour l'inflammation du mélange détonant du système mixte — dynamo-accumulateur — dont il vient d'être question. Ce dispositif semble donner toute satisfaction. On peut d'ailleurs, si l'on aime le changement essayer les diverses combinaisons susceptibles d'être employées en pareille circonstance : ou bien la batterie est pourvue d'un disjoncteur automatique mettant la dynamo hors circuit lorsque sa force électromotrice devient inférieure à celle des accumulateurs ; ou bien la batterie ne sert que de régulateur, tantôt absorbant l'excès de courant de la dynamo, et tantôt lui venant en aide, comme cela se pratique dans les stations d'éclairage.

A. Berthier.

ÉLECTROCHIMIE

Sur la préparation électrolytique des matières colorantes. *The Electrochemical Review*, t. I, p. 10, janvier 1900.

Dans cet article, sont tout d'abord rappelés les travaux de Goppelsröder sur la préparation, par voie électrolytique, de l'aniline et des matières colorantes dérivées de l'aniline, puis sont analysés quelques brevets relatifs à la préparation électrolytique des matières colorantes organiques.

L'un de ces brevets, pris en 1893-94, par la Elberfeld Farben fabriken (Bayer et C°), est relatif à la fabrication du paraamidophénol par réduction électrolytique du nitrobenzène. On sait, en effet, que, si la réduction par voie chimique (zinc et acide acétique) de la nitrobenzéne donne presque uniquement de l'aniline, la réduction de ce composé ($C^6H^5 — AzO^2$) par électrolyse donne plusieurs produits intermédiaires (1) parmi lesquels la phénylhydroxylamine ($C^6H^5 — AzH — OH$) qui, par transformation moléculaire, fournit le paraamidophénol $C^6H^4\begin{matrix}AzH^2\\OH\end{matrix}$. D'après le brevet indiqué le nitrobenzène est dissout dans l'acide sulfurique concentré ou peu dilué et la solution est placée dans le compartiment cathodique d'une cuve d'électrolyse ; le compartiment anodique contient de l'acide sulfurique ; la différence de potentiel est de 6 à 8 volts et l'intensité du courant monte de 1 à 3 ampères. On reconnaît que la réaction est terminée quand un échantillon de la liqueur traitée par l'eau ne donne plus de précipitation de nitrobenzène. Le paraamidophénol produit se combine avec l'acide sulfurique servant de dissolvant et donne du sulfate qui cristallise et que l'on sépare de la liqueur par filtration sur amiante. Le brevet prévoit aussi le traitement d'une façon analogue du binitrobenzène et du binitritoluène.

Quelques années plus tard, la maison Ewer et Pick, de Berlin, faisait breveter un procédé de préparation électrolytique du bleu de méthylène, par oxydation anodique, et ce procédé, trouvé satisfaisant, fut acheté par la Badische Anilin and Soda Fabrik. Il ne semble pas cependant que ce procédé ait été exploité commercialement.

Plus récemment, la Anilinöl-Fabrik A. Wülfing, de Eberfeld, a pris un brevet (D.R.P., n° 100 234) pour la réduction des composés nitrés en composés azoïques et hydrazoïques, avec emploi de sels alcalins d'acides organiques dans le but de maintenir la conductibilité de la solution cathodique. L'emploi de ces sels évite

(1) Voir dans ce journal, t. XVII, p. 237, 5 novembre 1898, la « Réduction du nitrobenzène », par Haber.

Digitized by Google

les inconvénients qui résultent de l'addition, dans le même but, d'alcalis caustiques; en outre, il permet de prendre des solutions plus concentrées en composés nitrés; enfin, il donne lieu à une réduction plus active. Pour la solution anodique, séparée de la solution cathodique par un diaphragme poreux, on peut prendre un sel alcalin quelconque; le sulfate de sodium est particulièrement recommandé. Les cathodes sont des plaques ou des toiles métalliques de fer ou de nickel. Comme exemple du mode opératoire, le brevet cite la réduction du nitrotoluène en hydroazotoluène : on dissout 1 kg d'orthonitrotoluène et 1 kg d'acétate de sodium dans 8 kg d'alcool à 70°, on met cette solution dans le compartiment cathodique, on chauffe jusqu'au point d'ébullition et on fait passer 780 ampères-heure avec une densité de 10 à 16 amp: dm²; on a alors de l'azotoluène; on fait ensuite passer 200 à 210 ampères avec une densité de courant allant en diminuant de 2 à 1 amp : dm²; on distille l'alcool et, par refroidissement, on fait cristalliser l'orthohydroazotoluène; le rendement est de 85 p. 100 du rendement théorique.

Un brevet allemand, plus récent encore (D.R.P., n° 100417), est relatif à la préparation électrolytique de la naphtaline mononitrée. On ajoute de la naphtaline à de l'acide nitrique de densité 1,25 (lequel ne dissout pas la naphtaline, même à chaud) et on fait passer un courant électrique. Ce procédé a, sur le procédé ordinaire, l'avantage de ne point exiger l'emploi d'acide azotique au maximum de concentration. La naphtaline mononitrée ainsi obtenue est facilement transformée en naphtaline dinitrée par traitement à chaud par l'acide azotique de densité 1,4.

Le dernier brevet signalé dans l'article qui nous occupe est le brevet allemand n° 100556, pris par la Farbwerke worm Meister, Lucius and Brüning, de Höchst a/M, pour la préparation du bleu basique de triphénylméthane, couleur surpassant de beaucoup par sa beauté et son éclat les autres matières colorantes bleues. On traite les chlorhydrates des divers triphénylméthanes (leucanilines) par l'acide sulfurique de Nordhausen, puis on oxyde la solution en liqueur faiblement acide des produits obtenus en la soumettant, dans le compartiment anodique, à l'action d'un courant.

Sur la préparation électrolytique des matières colorantes dérivées de l'aniline, par **E. C. Szarvasy.** *Zeitschrift für Elektrochemie,* t. VI, p. 403-408, 1er février 1900.

L'auteur commence par rappeler les travaux de Letheby, Goppelsröder, Voigt et Rotondis.

Letheby (1), dès 1862, chercha à avoir des dérivés colorés de l'aniline en électrolysant une solution de sulfate d'aniline entre deux électrodes de platine, la cathode étant plongée dans de l'acide sulfurique étendu, contenu dans un vase poreux placé dans la solution à électrolyser; il obtint sur l'anode un dépôt épais vert bleuâtre qui, jeté dans l'ammoniaque, prit une teinte bleue sans se dissoudre.

Les recherches de Goppelsröder (2), très complètes, portèrent sur divers sels d'aniline en solution acide ou neutre; en particulier, il obtint par électrolyse du chlorhydrate d'aniline, du noir d'aniline mélangé d'une faible quantité de violet d'aniline et d' « aniléine ». Voigt (3), en opérant sur des solutions concentrées de sulfate d'aniline, obtint diverses matières colorantes, parmi lesquelles la rosaniline, la safranine, etc. D'après les recherches de Rotondis (4), l'origine des matières colorantes doit être attribuée à la formation de substances azoïques par suite de l'oxydation des sels d'aniline.

L'auteur expose ensuite les résultats de ses recherches sur l'électrolyse du chlorhydrate d'aniline fondu.

Les premières expériences furent faites avec un tube en U plongé dans un bain métallique; deux lames de charbon servaient d'électrodes. En faisant passer un courant de 0,5 à 1 ampère, dans le sel fondu, il se formait rapidement une matière colorante bleu foncé dans la branche du tube contenant l'anode. Cette formation s'effectuait plus rapidement encore lorsqu'on prenait soin de mettre un tampon d'amiante, servant de diaphragme, dans la courbure du tube. Si, après que cette matière colorante s'était formée, on renversait le sens du courant, on constatait la formation de cette matière dans la branche qui, précédemment cathodique, se trouvait être maintenant anodique, tandis que la

(1) *Journ. Chem. Soc.*, 1862, 15, 151.
(2) *Farbenelektrochemische Mitteilungen*, Mulhouse.
(3) *Zeitschr. f. angew. Chem.*, 1894, p. 107.
(4) *Jahresber. f. Chem.*, 1884, p. 270.

Digitized by Google

coloration formée antérieurement dans l'autre branche disparaissait peu à peu. Ce dernier résultat montre nettement que, dans la préparation électrolytique des matières colorantes dérivées de l'aniline, il faut prendre soin d'éviter la réduction à la cathode.

Les autres expériences furent faites en prenant comme anode un creuset de graphite contenant le sel d'aniline et chauffé par un bec Bunsen réglé au moyen d'un thermostat; la cathode était constituée par un second creuset de graphite, plus petit que le précédent et placé à l'intérieur de celui-ci; ce petit creuset était fixé à une baguette de verre verticale, disposée suivant l'axe commun des deux creusets et mise en rotation rapide au moyen d'une courroie et d'un petit moteur électrique; le sel fondu se trouvait ainsi constamment en mouvement; en outre, l'épaisseur de la couche liquide comprise entre les deux creusets se trouvant être très petite, la résistance électrique du bain était faible.

Pour recueillir les produits de l'électrolyse et reconnaître leur nature on versait le sel fondu électrolysé dans une cornue contenant de l'eau et on se débarrassait par un courant de vapeur de l'aniline mise en liberté par un alcali; on lavait ensuite le résidu avec de l'eau chaude pour entraîner le chlorure de sodium qu'il renfermait, puis on le faisait digérer avec de l'alcool méthylique. Il restait une matière noire contenant un peu de graphite provenant de la désagrégation des électrodes. L'extrait alcoolique renfermait plusieurs matières colorantes fort difficiles à séparer.

Le tableau ci-dessous donne les conditions de quinze expériences faites avec cet appareil.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Différence de potentiel en volts	2,9-3,2	3-3,2	3-3,5	3,2-5	4,5-5	5,4-7	10-12	3-3,5	3-3,5	3-3,5	3-3,5	5-7	4-5	2-3	2-3
Densité de courant en amp-dm² à l'anode	0,57	0,7	0,8	1,03	1,12	2,2	3,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Densité de courant en amp-dm² à la cathode	1,2	1,48	1,7	2,2	2,5	4,5	6,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Durée d'une expérience en heures	3	3	3	3	3	3	3	2	5	8	16	3	3	3	3
Température	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	120	150	180	210
Produit en grammes par ampère-heure	1,64	2,0	2,5	2,1	1,86	1,54	1,45	2,7	1,9	1,3	0,61	1,8	2,3	1,67	1,1

Les essais 1 à 7 montrent l'influence de la densité de courant; les essais 8 à 11 celle de la durée de l'expérience: les derniers, l'influence de la température. On voit qu'il convient d'employer une densité de courant à l'anode d'environ 0,8 amp : dm², que la température doit être maintenue à 160° et que la quantité de matière colorante obtenue est d'autant plus grande que la durée de l'électrolyse est plus courte.

L'étude de la matière colorante extraite par l'alcool méthylique a montré que cette matière est insoluble dans l'eau, l'éther et la benzine tandis qu'elle est soluble dans les alcools, le chloroforme, l'aniline, les solutions aqueuses concentrées de sels d'aniline, etc. Lorsqu'on ajoute une solution de soude à l'extrait alcoolique, il se produit un précipité brun; la liqueur filtrée donne les réactions de l'acide chlorydrique; le précipité est soluble dans l'alcool additionné d'acide chlorydrique et la solution obtenue contient le chlorure de la base de la matière colorante. La base de ce sel se dissout dans l'éther en donnant une coloration brune; avec l'acide sulfurique concentré elle donne des sulfates acides qui se dissolvent dans un excès d'acide en donnant une couleur bleu foncé. Une oxydation énergique détruit la matière colorante de l'extrait alcoolique.

Dans d'autres expériences faites dans les conditions qui ont permis à O. Ficher et Hepp (1) d'obtenir les composés du groupe « induline », l'auteur est parvenu à isoler les corps que les chimistes précédents appellent induline et B_2 - 4 - anilido induline. Des essais faits avec une densité de courant plus élevée et à la température de 160° C. donnèrent quelques pro-

(1) *Annalen Chem. Pharm.*, 256, 262, 266, 272, 286.

Digitized by Google

duits solubles dans l'eau et la solution fournit, après filtration, des corps cristallisés. La liqueur mère et l'alcool ayant servi au lavage des cristaux contenaient des indulines solubles dans l'eau. Le produit cristallisé était la substance que Witt et Thomas (1) appellent « induline 6B ». La formation de ces substances peut s'expliquer par l'action du chlorhydrate de l'amine aromatique sur des combinaisons azoïques et aminoazoïques, action qui donne de l'azophénine jouant un rôle des plus importants dans la formation des indulines ; quant aux composés azoïques ils résulteraient de l'action déshydrogénante du chlore, provenant de l'électrolyse du chlorydrate d'aniline, sur l'aniline. L'auteur voit une confirmation de cette explication dans le fait que l'électrolyse d'un mélange d'aniline et de chlorhydrate d'aniline pendant deux ou trois heures donne, après élimination de l'aniline libre par un courant de vapeur d'eau, une poussière brune qui, lavée à l'eau chaude et à l'alcool puis dissoute dans l'aniline, fournit un corps cristallisé brun rouge fondant à 239° C et dont l'analyse indique la composition suivante :

$$C = 82{,}05 \quad H = 5{,}67 \quad Az^5 = 12{,}73.$$

résultats qui diffèrent fort peu de ceux qui résultent de la formule de l'azophénine $C^{36}H^{29}Az^5$:

$$C = 81{,}36 \quad H = 5{,}46 \quad Az^5 = 13{,}18.$$

En outre l'ensemble des propriétés chimiques du corps obtenu l'identifient avec l'azophénine.

Sur la préparation électrolytique des matières colorantes semblables à celles de l'induline, par **Walther Lœb**. *Zeitschift fur Elektrochemie*, t. VI, p. 441-442, 22 février 1900.

La publication de l'article de M. Szarvasy amène M. Lœb à indiquer quelques-uns des résultats qu'il a obtenus dans des recherches en cours d'exécution sur la préparation électrolytique des matières colorantes dérivées de l'induline.

M. Lœb opère l'électrolyse à la température du laboratoire. Il prend comme électrolyte une solution de nitrobenzène dans un mélange de deux parties d'aniline, ou d'un de ses homologues, et d'une partie d'acide chlorhydrique fumant de densité 1,19, mélange qui dissout les substances aromatiques nitrées avec une grande facilité. Après quelque temps d'électrolyse il obtient *à la cathode* des matières colorantes semblables à celles de l'induline, matières qui disparaissent par une réduction plus prolongée.

Aussi ne peut-il admettre que Szarvasy ait pu obtenir des substances identiques aux indulines connues par oxydation *anodique* du chlorhydrate d'aniline.

D'ailleurs il n'a, dans aucune expérience, constaté la formation de l'azophénine, fait qui, d'après l'auteur, non-seulement démontre l'inexactitude de l'explication que donne Szarvasy de la formation d'indulines, mais encore rend invraisemblable l'identité des matières colorantes obtenues par électrolyse avec celles du groupe induline malgré l'analogie de leurs propriétés.

(1) *Journ. Chem. Soc.*, t. XLIII, p. 112.

MAGNÉTISME

Susceptibilité magnétique des combinaisons, par **J. Kœnigsberger** (*Drude's Ann.*, t. I, p. 175-178, janvier 1900).

L'auteur ne croit pas que le paramagnétisme du sulfate de cuivre, du chlorure et du bromure du même métal soit dû comme le suppose St. Meyer (1) à des impuretés. G. Wiedemann avait trouvé déjà que les sels cuivriques sont paramagnétiques tandis que les sels cuivreux sont diamagnétiques. La combinaison de deux éléments diamagnétiques peut donc être paramagnétique.

Les écarts très grands que présentent les résultats obtenus sur les fils métalliques, la variation de la susceptibilité avec la direction et l'intensité du champ peuvent trouver une explication dans l'anisotropie des fils ; ces fils étaient en effet ou étirés ou obtenus par électrolyse : dans ce dernier cas le dépôt métallique était vraisemblablement orienté. M. L.

Susceptibilité moléculaire des sels paramagnétiques du groupe du fer, par **O. Liebknecht** et **A.-P. Wills** (*Drude's Ann.*, t. I, p. 178-188, janvier 1900).

Les auteurs ont mesuré la susceptibilité des dissolutions dans l'eau des sels de chrome, de manganèse, de cobalt, de nickel et de cuivre. Le procédé, dont le principe a été indiqué par Du Bois consiste à diluer la dissolution du sel

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XX, 520 ; t. XXI, 112.

Digitized by Google

jusqu'à ce que le diamagnétisme du dissolvant arrive à compenser le paramagnétisme du corps dissous. Pour constater la disparition du magnétisme, on observe le ménisque dans un tube capillaire qui est disposé entre les pôles d'un électro-aimant; si la dissolution n'est plus magnétique, le ménisque ne se déforme pas quand on excite le champ. Dans un champ de 40 000 unités, on peut déceler une susceptibilité magnétique qui ne dépasserait pas un cent-millième de la susceptibilité de l'eau pure. Du reste, cette sensibilité serait absolument illusoire : elle dépasse de beaucoup la limite des erreurs causées par les impuretés chimiques des substances employées.

On ne constate pas d'influence du diamètre du tube capillaire sur la concentration qui correspond à la disparition du magnétisme, ce qui prouve que la constante capillaire d'une dissolution non magnétique n'est pas modifiée par le champ magnétique : c'est un fait qui paraît général.

Liebknecht et Wills l'ont vérifié en faisant écouler les dissolutions à l'extrémité d'un tube capillaire, extrémité placée dans le champ magnétique de l'électro-aimant. Les dissolutions paramagnétiques s'écoulent plus vite quand le champ est excité : quand on ramène la vitesse à sa valeur normale en diminuant la charge hydrostatique, le poids des gouttes n'éprouve aucun changement par l'effet du champ. Si le champ n'est pas uniforme, la forme des gouttes se modifie et cette modification dépend de la répartition du champ.

Avec les dissolutions diamagnétiques, la vitesse d'écoulement est retardée par l'action du champ et l'écoulement peut même s'arrêter tout à fait : mais quand on ramène la vitesse à sa valeur normale par une augmentation de la charge hydrostatique, les gouttes reprennent aussi leur poids normal : dans un champ non uniforme le poids des gouttes est modifié d'une manière qui varie avec la répartition du champ.

Les dissolutions non magnétiques n'éprouvent aucun changement.

La susceptibilité moléculaire croît du chrome au manganèse et au fer et décroît ensuite jusqu'au cuivre par le nickel et le cobalt. Pour les haloïdes du manganèse, du nickel et du cobalt, elle croît du fluorure au chlorure, puis décroît du chlorure au bromure et à l'iodure. Les chlorures et les azotates donnent presque la même valeur. Il ne paraît pas y avoir de relation numérique simple, reliant les susceptibilités des éléments à celles de leurs combinaisons.

M. L.

Susceptibilité moléculaire des sels paramagnétiques des terres rares, par **H. Du Bois** et **O. Liebknecht** (*Drude's. Ann.*, t. I, p. 189-199; janvier 1900).

La susceptibilité magnétique de ces sels a été mesurée par le procédé décrit dans le mémoire précédent : les dimensions de l'appareil avaient été réduites de façon qu'on pouvait opérer sur une quantité minime de dissolution, 2 ou 3 gr : ce qui était d'autant plus important que les échantillons mis à la disposition des expérimentateurs ne dépassaient pas le poids d'un gramme.

Les sels sur lesquels ont porté les mesures, rangés dans l'ordre suivant : chlorure d'yttrium, de cérium, bromure de cérium, chlorure de praséodyme, de néodyme, azotate de néodyme, chlorure de samarium, chlorure de gadolinium, chlorure d'erbium, d'ytterbium, ont une susceptibilité moléculaire qui croît jusqu'à l'avant-dernier et tombe brusquement à une valeur beaucoup plus faible quand on passe au chlorure d'ytterbium.

Ces susceptibilités ne paraissent pas varier avec l'intensité du champ (entre 2 000 et 40 000 unités).

M. L.

Sur la distribution de l'induction magnétique autour d'un noyau de fer, par **A. Stefanini**. *Il Nuovo Cimento*, t. IX, p. 417, juin 1899.

Scarpa et Baldo (1) ont construit une bobine de Ruhmkorff avec induit sectionné en trois parties, de manière que, avec un courant inducteur donné par 3 éléments Bunsen, on ait 6 cm d'étincelles; enlevant ensuite du circuit la section médiane, ils obtenaient 6,5 cm d'étincelles; cette longueur atteignait 8 cm quand le fil de la section enlevée était enroulé sur les sections extrêmes, et 12,5 cm quand on changeait les communications entre ces deux sections de façon à réunir les extrémités correspondant aux spires internes et à laisser libres celles qui correspondent aux spires de la périphérie.

Ascoli (2) a trouvé que, dans certains cas, l'in-

(1) *Elettricita*, t. IX.

(2) *Elettricista*, t. II, p. 123 et 177, 1893.

Digitized by Google

duction magnétique dans la masse de fer va en croissant du centre à l'extrémité du noyau, ou bien présente un maximum intermédiaire ou va en diminuant; ce dernier cas semble correspondre à celui des bobines de Ruhmkorff ordinaires. Si l'on rapproche les résultats de Scarpa et Baldo de ceux d'Ascoli, on est conduit à en conclure que la distribution de l'induction magnétique au dehors du noyau et de la bobine magnétisante peut être différente de celle qui existe à l'intérieur de la masse du noyau. C'est pour éclaircir ce point que l'auteur a entrepris les expériences que nous allons rapporter.

M. Stefanini a adopté des bobines dont le noyau était formé de un ou plusieurs fils de fer contenus dans un tube de verre et maintenus suivant l'axe de la bobine magnétisante. Pour étudier la distribution de l'induction entre le noyau et les spires magnétisantes, l'auteur emploie des bobines exploratrices enroulées sur un tube de verre que l'on peut faire glisser sur le tube qui contient le noyau de fer. Pour mesurer l'induction à l'extérieur de la bobine inductrice, il s'est servi de bobines à gorge étroite de 3 diamètres différents, formées chacune d'un même nombre de spires de fil de 0,3 mm et pouvant s'introduire l'une dans l'autre, de façon à tenir dans un même plan.

Pour être dans des conditions de fonctionnement analogues à celles des bobines de Ruhmkorff, le magnétisme a été étudié en mesurant l'induction à la fermeture du primaire (mesure plus précise que celle qui correspond à l'ouverture). Pour diminuer les irrégularités provenant de l'état variable du noyau, avant toute mesure, le circuit inducteur était fermé et ouvert alternativement 50 fois de suite à l'aide d'un interrupteur à mercure.

Pour éliminer les causes d'erreur dues aux différences inévitables qui se produisent dans les mesures successives, l'auteur a fait usage de deux bobines induites identiques disposées en opposition dans le circuit du galvanomètre, l'une maintenue au centre du noyau et l'autre déplacée sur sa longueur. La déviation galvanométrique indique donc celle des deux bobines qui l'emporte et cela indépendamment des variations d'intensité du courant primaire et de la durée de fermeture. Quand on employait les bobines de diamètres différents, leurs résistances étaient rendues égales à celle de la plus grande, de façon que les déviations fussent comparables.

Les expériences faites sur une bobine d'induction, dont le rapport de la longueur du noyau à son diamètre est $\lambda = 256$ avec un champ magnétisant de 23. C. G. S. ont donné les résultats suivants :

L'induction dans l'espace extérieur aux spires magnétisantes ne suit pas la même loi que l'induction à l'intérieur du fer. Jusqu'à 11,2 cm de l'axe du noyau, on observe un maximum pour une section comprise entre le centre et l'extrémité comme pour la masse de fer; mais à 18,5 de l'axe, on observe une diminution continue du centre à l'extrémité. Le maximum, lorsqu'il a lieu, n'est pas à la même distance du centre pour des distances différentes de l'axe.

Il convient donc pour des bobines de cette sorte, d'accumuler les spires de petit diamètre au voisinage des extrémités, et celles de plus grand diamètre au centre.

L'auteur a étudié ce que devient le phénomène lorsque le rapport λ change, et pour un champ magnétisant de 50 à 55 C. G. S.

Le résultat de cette étude est que, à l'intérieur de la bobine magnétisante, le maximum se présente avec tous les noyaux adoptés ($\lambda = 1500$, 191, 250 et 125); mais au dehors le maximum ne se présente pas au delà de 11 cm de distance de l'axe; au-dessous de cette distance, il n'a lieu que pour les petites valeurs de λ.

Il semble donc que l'avantage des dispositions de Scarpa et Baldo n'a lieu que pour les noyaux gros et courts et pour des spirales induites de petit diamètre.

L'auteur étudie ensuite le phénomène dans les conditions où il se présente avec les bobines de Ruhmkorff habituelles; il a construit à cet effet un noyau de 900 fils de fer de 0,08 cm de diamètre et de 73,5 cm de longueur, par suite tel que $\lambda = 31, 2$; sur ce noyau de 3,4 cm de diamètre est enroulée la bobine magnétisante formée par deux couches de fil de l'épaisseur de 2 mm sur une longueur de 71 cm, cette hélice magnétisante a 7,2 spires par centimètre et leur diamètre externe est de 4,2.

L'étude du système privé de l'enroulement induit montre qu'il n'y a aucun maximum à l'extérieur de la bobine magnétisante pour un champ variant de 5 à 30 C. G. S.; l'induction diminue continuellement du centre à l'extrémité. Ce résultat fait prévoir que, au lieu d'accumuler

Digitized by Google

les spires induites aux extrémités, il convient de les rassembler au voisinage du centre.

L'auteur a fait varier la longueur du noyau qui émerge de la bobine; il a constaté ainsi que l'induction au centre est d'autant plus grande que le noyau dépasse moins la bobine; pour l'induction aux extrémités, il semble y avoir un maximum lorsque le noyau dépasse de 7 cm, mais ce résultat n'est pas définitif.

Tous ces faits ne peuvent expliquer les expériences de Scarpa et Baldo, et l'auteur, en voulant les répéter avec un champ de 9 C. G. S., et pour un noyau dont le rapport $\lambda = 31$, n'a rien obtenu d'analogue, il n'a pas observé de changement appréciable dans la longueur de l'étincelle, soit en plaçant les 3 sections au centre, soit à une même extrémité, soit en laissant l'une au centre et plaçant les deux autres aux extrémités, soit en intervertissant les communications à la manière indiquée par Scarpa et Baldo. En enlevant la section moyenne, la longueur d'étincelle baissait de 3,1 cm à 2.

G. Goisot.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séances du 5 et du 12 mars 1900 (1).

Dissymétrie dans l'émission polarisée d'un tube de Geissler soumis à l'action d'un champ magnétique, par **R. Dongier**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 650-653.

MM. Egoroff et Georgiewsky ont découvert que sous l'action d'un champ magnétique, les flammes susceptibles de donner des raies métalliques spontanément renversables émettent dans une direction normale aux lignes de force, de la lumière partiellement polarisée (2). M. Dongier a montré dans une précédente note (3) qu'il en est de même de la raie rouge émise par un tube de Geissler à hydrogène, soumis à l'action d'un champ magnétique normal à son axe. Depuis il a constaté que dans une direction normale à l'axe du tube, autre que la direction du champ magnétique, il y a, de chaque côté du tube, pour un même sens de décharge, des proportions différentes de lumière polarisée. Ainsi en excitant le tube avec une batterie d'accumulateurs donnant 4 000 volts et faisant passer le courant de l'électro-aimant dans un sens tel que le filet lumineux du tube se trouve rejeté par le champ vers le côté du tube qui est opposé à l'observateur, on perçoit, à l'aide d'un polariscope, des franges de Savart; ces franges disparaissent si l'on change le sens du courant dans l'électro-aimant.

Sur la préparation au four électrique des phosphures de fer, de nickel, de cobalt et de chrome, par **Georges Maronneau**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 656-659.

Des recherches antérieures sur la réduction du phosphate de cuivre par le charbon ayant montré à l'auteur (1) qu'il existe un phosphure de cuivre stable au four électrique, il a pensé qu'il serait possible de préparer d'autres phosphures par une réaction analogue à celle qui a été utilisée par M. Lebeau (2) pour la préparation des siliciures métalliques, c'est-à-dire en faisant réagir un métal sur le phosphure de cuivre chauffé au four électrique. Il a obtenu ainsi le phosphure de fer Fe^2P, le phosphure de nickel Ni^2P, le phosphure de cobalt Co^2P et le phosphure de chrome CrP.

Sur les moteurs à gaz à explosion, par **L. Marchis**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 705-708.

L'auteur montre que la théorie actuellement adoptée pour les moteurs à gaz à explosion contient, au point de vue thermodynamique, un certain nombre d'erreurs assez graves. Il prend

(1) Signalons outre les communications analysées ici, la communication « Sur la charge électrique des rayons déviables du radium », présentée à la séance du 5 mars par M. et Mme Curie et dont les résultats ont été publiés dans le numéro de ce journal du 10 mars, p. 400.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 518, 5 juin 1897 et t. XII, p. 183, 17 juillet 1897.

(3) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 238, 10 février 1900.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 238, 13 mai 1899.

(2) *Idem*.

Digitized by Google

pour exemple un moteur à quatre temps avec compression préalable du type Otto.

Dans un moteur de ce type la première course du piston correspond à l'aspiration ; celle-ci se faisant sous une pression voisine de la pression atmosphérique le travail produit sur le piston est nul. Pendant la seconde il y a compression adiabatique du mélange explosif. Pendant la troisième se produit l'explosion, que l'on peut supposer s'effectuer à volume constant, et la détente adiabatique des produits de l'explosion. Enfin la quatrième course produit l'expulsion des gaz brûlés.

Le système qui se transforme ne gardant une masse constante que pendant les deuxième et troisième courses, on ne peut appliquer le principe de l'équivalence qu'aux phénomènes qui se produisent pendant ces courses. Cette application conduit, pour le rendement thermique, à l'expression

$$\rho_1 = \frac{c'(T - t') - c(\theta - t)}{c'(T - \theta)}. \qquad (1)$$

t désignant la température du mélange explosif au commencement de la seconde course, θ sa température à la fin de cette course, c'est-à-dire après compression adiabatique, T la température développée par l'explosion, t' celle des gaz brûlés à la fin de la troisième course, c'est-à-dire après détente adiabatique, c la chaleur spécifique à volume constant du mélange explosif et c' la chaleur spécifique à volume constant du mélange des produits de la combustion.

Or au lieu de l'expression (1) on donne ordinairement la suivante

$$\rho_1 = 1 - \gamma \frac{t' - t}{T - \theta} \qquad (2)$$

où γ désigne le rapport des deux chaleurs spécifiques du mélange explosif. Cette expression est fausse car son établissement repose sur diverses hypothèses inexactes.

L'une de ces hypothèses est que la pression des produits de la combustion à la fin de la détente adiabatique de la troisième course est égale à la pression atmosphérique ; ceci revient à admettre que le cycle des transformations produites pendant les deuxième et troisième courses est fermé, ce qui est loin d'être exact. Une seconde hypothèse est que le rapport γ' des deux chaleurs spécifiques des produits de la combustion est égal au rapport γ. En troisième lieu on assimile le moteur à explosion à un moteur à air chaud ayant un foyer intérieur et un réfrigérant : on écrit que dans le cycle fermé auquel conduit la première hypothèse, le gaz emprunte une quantité de chaleur $Q = Mc(T - \theta)$ et cède au réfrigérant $q = M\gamma c(t' - t)$, et on déduit $\rho = \frac{Q - q}{Q}$ ce qui conduit à l'expression (2) ; or le foyer et le réfrigérant considérés sont des fictions purement arbitraires.

Sur l'étude expérimentale de l'excitateur de Hertz, par **R. Swyngedauw**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 708-711.

A la suite de la communication récente de M. Brunhes sur la vitesse des rayons Rœntgen (1) l'auteur a cherché à mesurer cette vitesse par une autre méthode basée sur les expériences de M. Blondlot sur la propagation des ondes électriques. Les difficultés qu'il a rencontrées dans cette voie l'ont amené à faire au préalable l'étude du mouvement électrique dans l'excitateur de Hertz.

On sait que d'après MM. Poincaré et Bjerkness, l'excitateur émet une vibration pendulaire amortie, pour laquelle les intervalles des zéros sont égaux, tandis que, d'après des considérations exposées dans une Note antérieure (2) l'auteur a été conduit à admettre que l'excitateur émet successivement une série d'oscillations complexes pour lesquelles les *intervalles de deux zéros consécutifs seraient inégaux*.

La plupart des expériences fondées sur la résonance semblent confirmer la première hypothèse ; cependant, MM. Drude et Lamotte ont décelé des vibrations de période multiple l'une de l'autre, ce qui semble plutôt en faveur de la seconde.

Pour résoudre le problème aussi directement que possible, M. Swyngedauw a déterminé l'abaissement du potentiel explosif que provoque l'étincelle hertzienne I sur un autre excitateur E chargé à un potentiel toujours le même, à des instants variables de la durée de la décharge de l'excitateur de Hertz ; ces instants étant repérés à l'aide de la propagation du potentiel le long d'un fil, étudiée par M. Blondlot (3).

(1) *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 157, 27 janvier 1900.

(2) *Écl. Élect.*, t. XI, p. 78, 3 avril 1897.

(3) Voici la disposition d'une expérience :

« Un excitateur de Hertz à plaques carrées P, P', de

Digitized by Google

Une expérience répétée à trois reprises différentes, a donné les résultats suivants :

L'excitateur N étant maintenu à une distance

40 cm de côté, dont les centres sont à 1,10 m de distance, est chargé par une machine de Holtz. En face des plaques P, P' du primaire on place les plaques S, S' de 12 cm de diamètre du secondaire à une distance de 2 à 3 cm. La plaque S est réunie à S' par un fil de cuivre de 160 m de long environ et 0,8 mm de diamètre, médiocrement isolé.

» En partant de S le fil forme d'abord un réseau r de trente-neuf brins de fil parallèles en série de 92 cm de long, à une distance de 2 cm l'un de l'autre ; l'extrémité de ce réseau r est unie à une extrémité d'un réseau R de dix-huit fils de 7 m de long, dont l'autre extrémité est fixée à S'.

» Les plaques en regard P' et S' sont réunies en outre par une corde mouillée, de sorte que, pendant la charge de l'excitateur, la plaque P est au potentiel du sol.

» Si le primaire se décharge, la charge mise en liberté sur la plaque secondaire S se propage d'abord le long du réseau r, puis à travers R avant d'arriver sur S'.

» Pour charger l'excitateur passif E à un potentiel toujours le même, à des instants variables du temps, on emploie la méthode des deux excitateurs dérivés que j'ai décrite ailleurs (*Écl. Élect.*, t. XI, p. 295, 8 mai 1897).

» Un pôle de l'excitateur E et un pôle d'un excitateur identique N sont réunis au même point du fil du réseau r, par un fil de 50 cm environ ; les autres pôles de E et N sont maintenus au potentiel du sol par communication permanente avec le sol (conduite de gaz) et avec l'armature interne d'un condensateur de grande capacité. Les deux excitateurs E et N sont formés de boules de laiton de 1,5 cm de diamètre, fixées sur tige isolante, protégées soigneusement contre les radiations ultra-violettes et polis après chaque étincelle par du papier d'émeri fin (n° 00), conformément aux règles que j'ai indiquées précédemment (*Écl. Élect.*, t. XI).

» Si l'on maintient N dans des conditions constantes et à l'abri des radiations électro-actives, l'étincelle y éclate toujours au même potentiel inconnu, mais constant, à moins qu'elle n'éclate auparavant en E, chargé à chaque instant au même potentiel que N.

» Si l'on compte les temps à partir du commencement de la décharge de l'excitateur de Hertz, en appelant 0 le temps nécessaire pour amener le point S, origine du fil de propagation, au potentiel φ de décharge de N ; si V désigne la vitesse de propagation du potentiel, et si l'on peut négliger l'amortissement de l'onde, un point M du réseau r, situé à une longueur l de S, sera chargé au potentiel φ à l'instant $0 + \frac{l}{V}$; et, si l'on néglige la longueur de fil qui joint M à E, maintenue constante ; si l'excitateur E est à une distance d de l'étincelle excitatrice I, si V' représente la vitesse de la lumière, *l'excitateur* E *sera chargé au potentiel* φ *pendant qu'il est éclairé par de la lumière émise par l'étincelle* I *à l'instant* $0 + \frac{l}{V} - \frac{d}{V'}$.

» Si donc on maintient d constant et si l'on fait varier l, *constante* de 0,20 mm environ, la distance E passe par des maxima et des minima nettement accentués quand on fait varier la longueur du fil comprise entre S et M.

Les minima qui correspondent aux zéros de l'intensité du courant dans l'excitateur ne sont pas équidistants. A partir du point origine, les intervalles des zéros consécutifs comprennent 2, 2, 4, 6, 7, 8 brins de fil de 0,92 mm de long.

La discussion complète et précise exige l'étude préalable de plusieurs faits et notamment la comparaison de la vitesse de l'onde électrique à la vitesse des radiations électro-actives de l'excitateur de Hertz.

Sur la capacité des conducteurs symétriques soumis à des tensions polyphasées, par **Ch. Eug. Guye**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 711-713.

La capacité γ, définie par le rapport de sa charge m à son potentiel v, le potentiel de tous les autres conducteurs en présence étant nul, est une quantité constante quelle que soit la variation de v en fonction du temps pourvu, naturellement, que cette variation soit assez lente pour que l'équilibre électrostatique puisse être considéré comme instantanément atteint et que le milieu diélectrique séparant les conducteurs ait un pouvoir inducteur spécifique constant.

Mais au lieu de supposer que tous les conducteurs en présence de celui que l'on considère sont au potentiel zéro, on peut spécifier pour un ou plusieurs d'entre eux un état déterminé, par exemple un potentiel variable avec le temps suivant une certaine loi. En général la capacité du conducteur n'est plus constante avec le temps dans ces conditions. Toutefois l'auteur démontre qu'il en est encore ainsi dans le cas où les conducteurs sont des fils parallèles dont les axes passent par les sommets d'un polygone régulier, parcourus par des courants polyphasés présentant l'un par rapport à l'autre un retard $\frac{2\pi}{n}$ (n étant le nombre de conducteurs) et entourés par une armure cylindrique dont l'axe passe par les centres du polygone et qui est au potentiel zéro ; c'est ce que l'auteur appelle des *conducteurs polyphasés symétriques*

ou inversement, on pourra observer l'allongement de la distance explosive E sous l'influence de la lumière émise par l'étincelle à des instants variables.

Digitized by Google

Cette démonstration (1) présente cet intérêt que la notion de *capacité d'un conducteur de ligne polyphasée* prend alors une signification précise.

La même notion peut d'ailleurs être étendue à un système de n conducteurs symétriques placé en présence d'un plan conducteur indéfini au potentiel zéro (sol), à la condition que la distance du système au plan soit suffisante pour que l'on puisse admettre que les capacités des conducteurs par rapport au plan soient égales entre elles.

(1) Les équations de l'équilibre électrostatique sont

$$m_0 = \gamma_{0,0}v_0 + \gamma_{0,1}v_1 + \ldots + \gamma_{0,n}v_n,$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$m_n = \gamma_{n,n}v_n + \gamma_{n,0}v_0 - \ldots + \gamma_{n,n-1}v_{n-1},$$

avec les conditions

$$v_0 = 0,$$

si l'armure est à la terre, et

$$v_1 + v_2 + \ldots + v_n = 0$$

si les tensions sont polyphasées.

La symétrie de la figure simplifie considérablement les équations générales. En premier lieu l'égalité

$$\gamma_{0,1} = \gamma_{0,2} = \ldots = \gamma_{0,n}$$

donne immédiatement $m_0 = 0$; c'est-à-dire : *la somme des charges qui recouvrent intérieurement l'armure est à chaque instant algébriquement nulle.*

En second lieu, la charge qui recouvre l'un des conducteurs intérieurs a pour expression

$$m_1 = \gamma_{1,1}v_1 + \gamma_{1,2}(v_2 + v_n) + \gamma_{1,3}(v_3 + v_{n-1}) + \ldots \quad (n \text{ impair}),$$
$$m_1 = \gamma_{1,1}v_1 + \gamma_{1,2}(v_2 + v_n) + \gamma_{1,3}(v_3 + v_{n-1}) + \ldots + \gamma_{n,\frac{n}{2}+1}v_{\frac{n}{2}+1} \quad (n \text{ pair}).$$

D'autre part, les tensions étant polyphasées de la forme

$$v_1 = V \sin \omega t,$$
$$v_2 = V \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{n}\right),$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$v_n = V \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{n}\right),$$

il en résulte

$$v_2 + v_n = 2\cos\left(\frac{2\pi}{n}\right)v_1,$$
$$v_3 + v_{n-1} = 2\cos\left(\frac{4\pi}{n}\right)v_1,$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$v_{\frac{n}{2}+1} = -v_1.$$

On aura, en définitive,

$$m_1 = \left[\gamma_{1,1} + 2\cos\left(\frac{2\pi}{n}\right)\gamma_{1,2} + 2\cos\left(\frac{4\pi}{n}\right)\gamma_{1,3} + \ldots\right]v_1 \quad (n \text{ impair}),$$
$$m_1 = \left[\gamma_{1,1} + 2\cos\left(\frac{2\pi}{n}\right)\gamma_{1,2} + 2\cos\left(\frac{4\pi}{n}\right)\gamma_{1,3} + \ldots - \gamma_{n,\frac{n}{2}+1}\right]v_1 \quad (n \text{ pair}).$$

Soit, d'une façon générale,

$$\gamma'_1 = \frac{m_1}{v_1} = \text{const.}$$

Sur une remarque de M. D. Tommasi, par **Th. Tommasina**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 718.

« Je ne puis comprendre la revendication que M. D. Tommasi vient de faire (voir *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 397). En effet, dans sa note *Sur l'électrolyse de l'eau distillée*, il ne parle pas de cristallisation métallique, et les mots *recouverte de cristaux* et *un très beau dépôt de cuivre cristallisé*, n'y figurent pas. Du reste, cette question n'est pas traitée dans son mémoire, dont le but était tout autre ».

Sur la formation électrolytique du chlorate de potassium, par **André Brochet**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 718-721.

L'auteur complète les indications données dans une note précédente (voir *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 159) sur l'électrolyse d'une solution de chlorure de potassium en présence de chromate en faisant connaître les résultats d'une série de recherches poursuivies dans les mêmes conditions mais en variant la composition de l'électrolyte.

Il a constaté une influence très nette de l'alcalinité : avec une solution contenant seulement 1 p. 100 de potasse, on ne peut dépasser 1 degré chlorométrique tandis qu'avec une solution neutre contenant un peu de bichromate (et de ce fait légèrement acidifiée), on peut arriver à 7,3 degrés chlorométriques. Les courbes de rendement, qui ont une allure analogue dans le cas d'une solution neutre (légèrement acide ou alcaline) diffèrent notablement dans le cas de solutions alcalines : la courbe correspondant à l'hypochlorite tend à disparaître à mesure que l'on augmente la proportion d'alcali ; en même temps la courbe du chlorate se rapproche de plus en plus de celle du chlore total et finit par se confondre avec elle.

L'auteur rappelle ensuite que d'après Oettel le chlorate peut se former soit par action primaire, soit par action secondaire. Ses recherches le portent à admettre cette théorie dans son ensemble et l'amène aux conclusion suivantes :

Digitized by Google

a. *Solution froide de chlorure de potassium sensiblement neutre.* — 1° Le chlorate se forme toujours par réaction secondaire, le résultat de l'électrolyse étant *uniquement* de l'hypochlorite.

2° Cet hypochlorite se forme en utilisant *la quantité totale d'électricité* fournie à l'appareil.

3° L'hypochlorite est réduit en grande partie au fur et à mesure de sa formation, l'addition de chromate, comme l'a indiqué Müller, évite *dans certains cas* cette réduction.

4° Dès que l'hypochlorite atteint une certaine concentration, ce qui se produit d'autant plus vite lorsqu'il y a du chromate, il se transforme proportionnellement en chlorate. Pour une certaine teneur indiquée par le *degré chlorométrique limite* de la solution, à toute quantité d'hypochlorite obtenue correspond une quantité équivalente transformée en chlorate.

5° Cette oxydation de l'hypochlorite pour donner du chlorate se fait toujours *avec un dégagement d'oxygène.*

6° L'idée qu'une certaine quantité d'électricité est employée à l'électrolyse de l'eau n'est pas exacte, toute celle qui est fournie à l'appareil donne de l'hypochlorite et, de même que Müller, en solution neutre, par addition de bichromate empêche la réduction de l'hypochlorite, de même, si par un artifice quelconque on pouvait provoquer la transformation de l'hypochlorite en chlorate sans perdre d'oxygène, on arriverait à faire des chlorates en utilisant la quantité totale d'électricité fournie à l'électrolyseur(1).

b. *Solution chaude de chlorure de potassium sensiblement neutre.* — Dans ces conditions, le processus est identique, avec cette différence que la transformation de l'hypochlorite en chlorate se faisant plus facilement, on ne peut arriver à un degré chlorométrique aussi élevé ; mais, également, on ne peut supprimer complètement l'hypochlorite ; il en reste toujours dans la solution.

c. *Solution alcaline de chlorure de potassium.* — Comme dans le cas précédent la transformation se fait plus facilement. D'autre part, d'après Ettel, il y a formation directe de chlorate de potassium ; d'après Fœrster, le chlorate, dans ces conditions, est uniquement dû à une action primaire. L'auteur ne croit pouvoir ni infirmer, ni confirmer cette hypothèse ; il est cependant assez porté à croire que cette formation primaire n'a pas lieu et que le produit obtenu dans tous les cas est uniquement l'hypochlorite, même lorsqu'il ne peut être décelé dans la solution ; la raison est qu'il donnerait instantanément du chlorate.

Dans le cas d'une solution alcaline, l'idée d'électrolyse de l'eau revient naturellement, mais tout l'oxygène que l'on recueille n'en provient pas, une partie résultant de la destruction de l'hypochlorite.

Influence anodique sur la conductibilité nerveuse chez l'homme, par **S. Leduc**, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 750-752.

Dans une série d'expériences on place sur le nerf une *cathode fixe*, sur les points étudiés des électrodes, qui peuvent successivement jouer le rôle d'anodes, la surface de ces électrodes étant réglée de façon que la résistance entre chacune d'elles et la cathode soit partout la même ; le muscle animé par le nerf en expérience est tendu par un poids de 1 kg. L'enregistrement des contractions du muscle montre que

(1) A propos de cette transformation de l'hypochlorite en chlorate avec dégagement d'oxygène, l'auteur ajoute :

« C'est un point que je n'ai pas encore complètement éclairci. Fœrster et Jorre ont démontré que, sous l'influence d'un excès d'acide hypochloreux, l'hypochlorite donne du chlorate, mais cette action se fait assez lentement. Peut-être est-elle due à l'électrolyse de l'hypochlorite ou de l'acide hypochloreux. Peut-être est-ce une auto-oxydation spontanée. Je suis assez porté à croire que le phénomène est assez complexe et que plusieurs réactions se produisent simultanément.

» Je crois devoir en outre faire observer le fait suivant : lorsque l'on électrolyse une solution neutre de chlorure de potassium additionnée de bichromate, le liquide, orangé au début, passe au jaune. On pourrait croire qu'il est devenu alcalin. Il n'en est rien. En effet, si l'on abandonne la solution à elle-même, on constate que du jour au lendemain le degré chlorométrique baisse énormément, et à la fin le liquide reprend peu à peu sa teinte primitive.

» Au début, l'acide chromique du bichromate donne du chromate neutre en mettant de l'acide hypochloreux en liberté. C'est cet acide hypochloreux qui, une fois l'électrolyse terminée, provoque la transformation de l'hypochlorite en chlorate, ou plutôt, à mon avis, il s'oxyde lui-même en donnant de l'acide chlorique, lequel met en liberté une nouvelle quantité d'acide hypochloreux, et ainsi de suite tant qu'il y a de l'hypochlorite ; finalement, lorsqu'il n'y en a plus, l'acide chlorique déplace alors l'acide chromique et le liquide reprend alors sa teinte orangée primitive. Au cours de cet essai, on peut constater le dégagement de bulles d'oxygène qui font flotter les cristaux de chlorate se déposant dans la solution. »

Digitized by Google

lorsque l'anode est entre la cathode et les centres nerveux, c'est-à-dire lorsque le courant est descendant ou centrifuge, les contractions sont toujours beaucoup plus fortes que lorsque l'anode est entre la cathode et le muscle, les courants étant alors ascendants ou centripètes. La grandeur de ces contractions dépend dans une très grande mesure de la position de l'anode pour une même excitation cathodique. Cette influence de la position de l'anode s'observe avec les courants faradiques aussi bien qu'avec les courants voltaïques ; elle est d'autant plus marquée que le courant a une tension plus élevée et elle augmente avec l'intensité jusqu'à ce que l'anode excite elle-même le nerf moteur.

Dans une seconde série d'expériences, la cathode est à l'épigastre, l'anode sur le nerf ; un ressort oppose une résistance croissante au développement du muscle. Toutes les deux secondes, le sujet exerce *volontairement* le maximum de force pour tendre le ressort. L'amplitude des oscillations du graphique est plus petite aux moments où agit l'anode qu'aux périodes d'interruption du courant, ce qui démontre l'influence de l'anode ou du courant ascendant pour augmenter la résistance au passage des impulsions volontaires. La cathode ne produit pas le même effet.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 17 mars 1900.

M. **Crémieu**, à propos de la communication présentée dans la dernière séance par M. Raveau, au sujet de l'***induction unipolaire***, dit quelques mots de l'influence possible du mouvement d'un conducteur sur l'intensité d'un courant et du rôle de ce phénomène dans l'explication de l'induction unipolaire.

M. **Blondel** adresse par lettre quelques observations sur la même question.

Au point de vue expérimental, il ne semble pas impossible, même avec des circuits fermés, de décider si un aimant tournant autour de son axe de révolution entraîne ou non les lignes de force dans son mouvement. Des expériences ingénieuses, mais trop peu connues, de M. E. Lecher (*Annales de Wiedemann*, LIV, 1895) permettent même, semble-t-il, de trancher la question d'une façon très nette en faveur de la théorie de Faraday, c'est-à-dire du non-entraînement.

D'ailleurs, au point de vue théorique, rien, dans le cas contraire, ne semble motiver l'hypothèse de l'entraînement, car la rotation d'un aimant de révolution autour de son axe ne modifie en rien les conditions du champ extérieur (calculé d'après la répartition des masses magnétiques). Au contraire il est facile de voir que la dite hypothèse conduirait à des conséquences peu vraisemblables. Supposons, par exemple, qu'on prenne deux aimants identiques et de révolution, qu'on les place en prolongement, avec leurs pôles contraires en regard et peu éloignés, de façon qu'au repos les lignes de force dans l'entrefer soient à peu près parallèles à l'axe et qu'enfin on fasse tourner ces deux aimants autour de leur axe commun avec des vitesses égales, en sens inverses : s'il y avait entraînement, il faudrait admettre que les lignes de force prennent alors dans l'entrefer des directions variables, *obliques par rapport à l'axe du champ magnétique apparent*.

Pour ces motifs, M. Blondel ne croit pas qu'il y ait lieu de renoncer aux idées de Faraday, tant qu'on n'aura pas apporté pour les combattre des arguments ou des faits positifs.

M. L. Poincaré, secrétaire général, qui a lu cette lettre, ajoute que M. Raveau et M. Blondel sont actuellement en correspondance et que la discussion pourra être reprise utilement sur une publication plus étendue que le résumé publié par le *Bulletin des Sciences*, qui avait donné lieu aux observations qui précèdent.

M. **Villard** développe les vues ingénieuses et les intéressantes expériences qu'il a indiquées dans une note ***sur la décharge des corps électrisés et la formation de l'ozone*** reproduite dans la page 155 de ce volume. Il décrit quelques expériences nouvelles.

Si l'on prend comme pôles d'une bobine de Ruhmkorff deux fils de platine de même diamètre, on voit le fil négatif rougir seul. Si l'on ferme la même bobine sur un appareil composé de deux lampes à incandescence dont les ampoules ont été soudées bout à bout et dans lesquelles on a fait le vide de Geissler, le filament négatif devient incandescent, bien qu'il ne soit traversé que par quelques millièmes d'ampère. Le nouveau procédé d'éclairage proposé il y a quelques années par Testa semble reposer sur un phénomène analogue. C. R.

Digitized by Google

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 9 mars 1900.

Sur l'amortissement des aiguilles de galvanomètre, par **Salomon**.

La résolution des équations du mouvement d'une aiguille aimantée oscillant dans un champ magnétique uniforme montre que le rapport de la période d'oscillation au décrément logarithmique est indépendant du moment des forces agissant sur l'aiguille, c'est-à-dire de l'intensité du champ, et est simplement une fonction du coefficient d'amortissement et du moment d'inertie du système mobile. Si donc ces dernières quantités restent constantes, le rapport doit lui-même rester constant.

Des expériences ont été faites à diverses reprises depuis 1891 au Central Technical College dans le but de vérifier cette conclusion; elles ont toujours montré une variation du rapport. M. Salomon s'est proposé de rechercher la cause de cette variation.

Cette variation peut être due soit à une modification du moment d'inertie, soit à une modification du coefficient d'amortissement. Si les aimants produisant le champ sont l'un immédiatement au-dessus, l'autre immédiatement au-dessous de l'aiguille, il y a peu de chance de variation du moment d'inertie. D'autre part le coefficient d'amortissement dépend : 1° de la viscosité de l'air ; 2° du frottement de la suspension; 3° des courants de Foucault. Or, dans les expériences faites avec un galvanomètre à circuit ouvert, l'auteur a trouvé une valeur constante pour le rapport de la période au décrément; par suite la viscosité de l'air et le frottement de la suspension n'ont pas d'influence sur la variation observée dans les expériences faites en circuit fermé. Cette variation est par conséquent due aux courants de Foucault. Ceux-ci peuvent modifier le facteur d'amortissement de trois façons : 1° en modifiant le moment des forces agissant sur l'aiguille par le fait qu'ils modifient le champ agissant; 2° par des effets de self-induction ; 3° en élevant la température de la bobine et modifiant ainsi sa résistance. L'auteur ayant reconnu que ces deux dernières causes tendraient à modifier la période au décrément dans le sens inverse de celui indiqué par l'expérience, il en conclut que la première cause agit seule, c'est-à-dire que la variation du rapport est due à une modification par les courants de Foucault du champ directeur.

M. Rosenbaum ayant fait observer que le rapport de la période au décrément reste toujours constant dans le cas d'un galvanomètre Nalder-d'Arsonval, M. Salomon répond que sa démonstration n'est applicable qu'aux galvanomètres à aimant.

Distribution des molécules gazeuses dans un champ électrique, par **G.-W. Walker**.

L'auteur admet qu'un gaz est formé de molécules constituées chacune de deux atomes de masse égale, chargés l'un positivement, l'autre négativement. Il suppose en outre que lorsqu'un gaz est soumis à l'action de forces électriques, les molécules se divisent en atomes et qu'il se produit un état d'équilibre dans lequel il y a un nombre défini de molécules non scindées et un nombre défini d'atomes positifs et négatifs libres. En cherchant le potentiel en un point dû à un pareil système, il obtient une expression formée de fonctions elliptiques, qui par conséquent est périodique par rapport à l'espace.

Appliquant ce résultat au cas d'un tube à vide, M. Walker trouve qu'à la chute continue de potentiel le long des électrodes doivent se superposer de petites variations périodiques et il est ainsi amené à penser que c'est à ces variations que sont dues les stries présentées par la décharge dans le vide. Dans une telle décharge, la densité de la matière et la densité électrique doivent varier périodiquement d'un bout à l'autre du tube. Si les points où la densité de la matière est maxima coïncident avec ceux où l'action électrique est minima, il devra y avoir maximum de lumière en ces points, si toutefois on admet que la luminosité est due à des collisions ou à des recombinaisons d'atomes. Si ces points ne coïncident pas exactement comme cela doit avoir lieu en général, il pourra y avoir encore des maximum de luminosité, mais ces maximum ne seront pas nettement définis.

L'étude analytique complète de la question conduit l'auteur à cette conclusion que la distance entre les stries est inversement proportionnelle à la densité du gaz et à l'intensité du courant; cette conclusion a été vérifiée expérimentalement.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXII. Samedi 31 Mars 1900. 7e Année. — N° 13

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. CORNU, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Membre de l'Institut. — **A. D'ARSONVAL**, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

COHÉREURS OU RADIOCONDUCTEURS

I. *Résistance au contact de deux conducteurs.* — Dans les généralisations élémentaires de la loi d'Ohm, on admet que la résistance de deux conducteurs placés bout à bout est égale simplement à la somme des résistances individuelles de ces deux conducteurs. Cette proposition n'est exacte cependant que sous certaines conditions : il faut que les surfaces des deux conducteurs en contact soient bien propres et pressées l'une contre l'autre avec une force suffisante.

Sinon le contact des deux surfaces présente au passage du courant une résistance qui peut devenir énorme, voire infinie pratiquement.

C'est Hughes (1) qui le premier a étudié ces résistances au contact de deux conducteurs, étude qui le conduisit à l'invention du microphone. Il reconnut en même temps que certains contacts devenaient beaucoup moins résistants quand une étincelle électrique éclatait dans le voisinage et il songeait même à utiliser cette propriété pour la transmission de signaux.

On peut dire que les travaux de Hughes renfermaient en germe tout ce qui a été fait depuis sur les contacts à résistance variable et cette constatation nous permettra de ne pas entrer dans les discussions de priorité qui se sont levées entre les inventeurs ou réinventeurs de la télégraphie sans fil.

Plus récemment Branly (2) a fait une étude très longue et détaillée de ces variations de résistance et a observé des phénomènes très bizarres.

La résistance d'une pile de disques métalliques bien dressés n'est pas toujours négligeable, même quand ces disques sont du même métal : elle varie suivant que ces disques

(1) Hughes. V. Du Moncel. *Journal de Physique*, [1] t. VII, p. 219.

(2) Branly. *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 230, 1895; t. VII, p. 78; t. XVI, p. 385, 1898; *Comptes rendus*, t. CXX, p. 869, 1895; t. CXXVII, p. 219, 1898.

Digitized by Google

ont été posés doucement l'un sur l'autre, ou avec choc : quand on superpose différents métaux, la résistance peut varier avec l'ordre de la superposition.

Les phénomènes de ce genre sont extrêmement variés : mais parmi les formes très nombreuses qu'on peut donner à ces expériences, nous nous arrêterons principalement sur celles qui ont été effectuées sur les colonnes de poudre métallique : ce sont celles qui nous intéressent le plus à cause de leurs applications.

2. *Résistance des poudres métalliques.* — Branly (1) a trouvé qu'une colonne de poudre métallique de quelques centimètres de longueur ne laisse pas passer le courant d'une pile de quelques volts. Mais cette résistance énorme s'abaisse brusquement quand on fait éclater dans le voisinage l'étincelle d'une bouteille de Leyde ou d'une machine électrique. Le galvanomètre inséré dans le circuit avec la pile et la poudre dévie brusquement. Ce n'est pas l'étincelle même qui provoque cette diminution, car on l'observe tout aussi bien quand l'étincelle est très éloignée et qu'on décharge un conducteur électrisé auprès de la colonne de poudre ; ou encore quand on touche un point du circuit avec l'armature d'une bouteille de Leyde chargée, quand on fait passer dans le circuit le courant induit d'une bobine.

Il est à remarquer que cette diminution de résistance se produit que la substance sensible soit en circuit ouvert ou en circuit fermé.

3. *Retour à la résistance primitive.* — Lorsque la résistance a été modifiée ainsi par une influence électrique, il suffit de frapper légèrement (en général) sur la planchette qui porte la colonne de poudre métallique pour que la résistance reprenne sa valeur primitive. Le choc nécessaire pour provoquer cette rétrogradation de la conductibilité est d'autant plus fort que l'action électrique a été plus énergique ; il faut bien entendu qu'au moment où le choc se produit, l'action électrique ait cessé.

Une élévation de température provoque aussi dans certains cas, le retour à la résistance primitive ; mais cette action est moins générale.

4. *Explication du phénomène ; radioconducteurs ou cohéreurs ?.* — Au cours de ses expériences sur la résonance des oscillations électriques, Lodge (2) avait remarqué qu'entre les deux boules du résonateur lorsqu'elles étaient fort rapprochées, subsistait après le passage de l'étincelle une conductibilité assez grande. Il attribue l'existence de cette conductibilité à la formation d'une chaîne métallique ininterrompue constituée par des particules arrachées aux deux conducteurs et soudées ensemble par l'étincelle. Il explique de la même manière la conductibilité acquise par les colonnes de limaille et propose par ces systèmes le nom générique de « coherer ».

Dans cette manière de voir, la conductibilité communiquée aux colonnes de limaille par les influences électriques serait due à l'action d'étincelles microscopiques éclatant entre les grains de limaille. A l'état normal, la limaille ne conduit pas parce que les grains sont recouverts d'une couche superficielle peu ou point conductrice ; ce qu'on peut dire, en général, de tout système de surfaces métalliques en contact qui ne laisse pas passer le courant. Les étincelles provoquées entre les grains de limaille par les influences électriques percent cette couche superficielle et entraînent des particules métalliques qui se soudent l'une à l'autre et relient les grains. Le choc a pour effet de briser ces chaînes, ce qui entraîne la disparition de la conductibilité.

Branly (3) n'admet pas cette explication de Lodge. Il tire son principal argument, le

(1) Branly. *La Lumière Électrique*, t. XI, p. 301-309, et 506-511, 1891.
(2) Lodge. *Philosophical Magazine*, [5] XXXVII p. 94 ; *La Lumière Électrique*, t. II, p. 488, 1894.
(3) Branly. *La Lumière Électrique*, t. LI, p. 526.

Digitized by Google

seul, il est vrai, mais en réalité très sérieux, des expériences qu'il a effectuées sur les mélanges de limaille et de diélectriques divers, mélanges dont quelques-uns avaient «la dureté du marbre ». D'après lui (*loc. cit.*), l'ensemble des phénomènes ne peut s'expliquer que par deux hypothèses.

« 1° Ou l'isolant interposé entre les particules conductrices devient conducteur par le passage d'un courant de haut potentiel et les divers phénomènes observés caractérisent la conductibilité de l'isolant;

« 2° Ou bien on peut regarder comme démontré qu'il n'est pas nécessaire que les particules d'un conduteur soient en contact pour livrer passage à un courant électrique même faible: la distance pour laquelle la conductibilité persistante s'établit dépend d'un rayon d'activité que l'énergie d'effets électriques antérieurs augmente considérablement. Dans ce cas l'isolant sert principalement à maintenir un certain intervalle entre les particules. »

Telles sont les deux théories en présence, entre lesquelles seules des expériences systématiques permettront de décider. Un grand nombre de physiciens se sont attaqués à ces recherches ; ce sont ces travaux dont nous allons résumer rapidement les résultats.

5. *Production d'étincelles aux points de contact.* — Il est hors de doute que des étincelles se produisent au moment où l'on fait agir les radiations électromagnétiques sur les contacts à résistance variable. Tous les observateurs qui ont étudié le phénomène au microscope sont d'accord sur ce point. Les contacts employés sont de construction très variée. Arons (1) colle sur une lame de glace une bande de clinquant, la fend en deux avec un couteau bien affilé et diminue la largeur assez pour qu'elle puisse se trouver tout entière dans le champ du microscope. Sur la section on verse une trace de poudre métallique, limaille fine de cuivre, de fer ou argent précipité. Il fait agir sur le système les ondes d'un appareil de Lecher: au moment où agissent les ondes, on observe des mouvements violents des grains de limaille et un vif flux d'étincelles.

Quand les oscillations sont très intenses, elles détruisent la conductibilité que les précédentes ont créée ; ce phénomène est accompagné aussi de mouvements très prononcés et de vives étincelles. Il ne s'observe plus quand la quantité de limaille est trop grande, évidemment parce que les contacts détruits sont remplacés par d'autres.

Van Gulik (2) prend deux boules oxydées légèrement pressées l'une contre l'autre, ou deux fils de platine dont les extrémités ont été fondues et forment de petites boules ; on voit aussi, sous le microscope, jaillir de petites étincelles, quand on produit dans le voisinage des oscillations électriques : les deux boules peuvent rester accolées.

Tommasina (3) observa également ces étincelles entre les grains de limaille : Malagoli a pu les photographier (4).

6. *La conductibilité est-elle due à l'action des étincelles?* — La production d'étincelles entre les grains de limaille ou entre les conducteurs formant un contact sensible accompagne donc l'apparition de la conductibilité ; mais il ne s'ensuit pas immédiatement qu'elles sont la cause de cette apparition.

Dans un grand nombre de cas, l'observation prouve que les deux phénomènes sont en relation directe. Arons, en faisant des expériences avec la bande de clinquant, sans limaille, a trouvé qu'à la suite de l'action des ondes, les bords du clinquant étaient effran-

(1) Arons. *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 567-571.

(2) Van Gulik. *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 136-145, 1898.

(3) Tommasina. *Comptes rendus Ac. Sc.*, CXXVIII, p. 666; *Archives des Sciences physiques et naturelles* [4], t. VIII, p. 430, 1899.

(4) Malagoli. *Elettricita*, t. VII, p. 193.

Digitized by Google

gés et le sillon recouvert d'un enduit brun. Il est tout naturel d'attribuer la conductibilité à la présence d'une liaison conductrice constituée par les matières arrachées par l'étincelle aux surfaces en regard, liaison immédiatement observable dans l'expérience d'Arons.

Par cette action des étincelles, on s'explique aisément que dans certaines conditions, les ondes électromagnétiques, surtout si elles sont intenses, provoquent non plus l'augmentation, mais la diminution ou même la disparition de la conductibilité. Les ondes intenses provoquent des étincelles plus fortes ; ces étincelles pourront d'une part établir des liaisons conductrices, sur certains points, mais d'autre part occasionner sur d'autres points la rupture des liaisons existantes. Si donc le nombre des liaisons rompues est supérieur à celui des liaisons établies, la conductibilité diminuera ; s'il lui est à peu près égal, la conductibilité variera peu ; c'est en effet ce qu'on a observé à diverses reprises. Ainsi les miroirs de platine de Kundt éprouvent toujours une augmentation de résistance sous l'action des ondes ; mais leur résistance est toujours insensible au choc ; ce qui se comprend facilement, car les chocs ne peuvent rien changer à l'état des failles dont est sillonnée la surface du miroir ; tandis que les étincelles induites rompent les ponts reliant les bords de ces failles. On s'explique de même que les miroirs d'argent obtenus par pulvérisation d'une cathode, dont la surface est continue, sont insensibles, mais deviennent sensibles quand on en a rayé la surface (Van Gulik).

Les objections d'Aschkinass (1) contre la théorie de Lodge ne sont donc pas fondées en ce qui concerne l'action variable des ondes. Mais, d'autre part, le mécanisme du phénomène tel qu'il vient d'être décrit ne suffit pas à rendre compte de tous les faits observés. Car il semble, d'après ce qui précède, que tous les contacts devraient être sensibles, indépendantes de la nature des conducteurs ; or les propriétés superficielles des métaux en contact et surtout leur degré d'altérabilité sont un facteur essentiel, comme nous allons le voir maintenant.

7. *Influence de la couche superficielle des métaux en contact.* — Dorn (2) a construit des cohéreurs portant des électrodes scellées dans le verre : le tube est en outre muni d'une tubulure latérale qui permet d'y faire le vide ou d'y introduire un gaz autre que l'air. Il admet que la résistance opposée au courant par les colonnes de limaille réside pour la plus grande part dans la couche superficielle qui recouvre les grains. Les limailles de platine, d'argent, de la plupart des nickels n'offrent au courant qu'une résistance très faible ; la résistance des limailles de cuivre et de zinc augmente avec le temps : ces métaux donnent des cohéreurs peu sensibles. Or il est à remarquer que ce sont des métaux peu oxydables ; il est donc très naturel d'admettre que c'est la couche d'oxyde formée à la surface des grains qui contribue à les isoler les uns des autres. Plusieurs observations confirment cette hypothèse. La résistance des limailles de fer, de cuivre, de zinc, de nickel diminue quand on les chauffe dans le vide : avec l'aluminium on n'observe pas cette diminution : l'alumine est en effet très stable.

Dans l'hydrogène et le gaz carbonique *secs*, la résistance augmente peu, moins que dans l'air non desséché. Un chauffage prolongé dans le vide détruit la sensibilité du cohéreur : si le chauffage n'a pas été poussé jusque-là, la résistance tend toujours vers la même limite quand on fait rentrer l'air et agir les ondes.

L'existence de cette limite est difficile à concilier avec les idées de Branly : dans l'hypothèse de Lodge, il suffit d'admettre que le nombre des liaisons métalliques croît jusqu'à

(1) Aschkinass. *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 284-307, 1898.
(2) Dorn. *Ibid.*, p. 146-161, 1898.

Digitized by Google

ce que la conductibilité soit assez grande pour empêcher le dégagement de la chaleur nécessaire à la formation de nouvelles liaisons.

Du reste, si les expériences de Dorn laissaient des doutes, ces doutes ne sauraient subsister à l'égard des expériences absolument décisives de Blondel (1). Deux en particulier démontrent nettement que le phénomène est dû à la formation d'une couche superficielle peu conductrice et pas trop épaisse. En premier lieu, la limaille d'argent qui est insensible à l'état normal, devient sensible quand on l'a légèrement sulfurée. En second lieu, on peut faire des cohéreurs *inverses*, c'est-à-dire formés de limaille *inoxydable* serrée entre des électrodes *oxydables*.

Branly (2) avait cru infirmer la théorie de Lodge en insistant sur les expériences qu'il avait effectuées avec des radioconducteurs à limaille d'or et de platine : mais ces expériences n'ont pas la signification qu'il leur attribuait, car dans ces radioconducteurs, la limaille était en contact avec des électrodes de cuivre. Blondel a montré en outre qu'on pouvait, au moyen d'alliages d'argent et de nickel, régler le degré d'oxydabilité et réaliser ainsi le plus favorable au fonctionnement régulier du cohéreur.

Les étincelles induites par les ondes électromagnétiques percent cette couche d'oxyde peu conductrice et en provoquant une fusion partielle du métal, soudent ensemble les grains. Ce n'est pas là une hypothèse gratuite, car les expériences très intéressantes de Tommasina (3) ont montré nettement l'existence de ces soudures.

Ainsi Tommasina prend comme cohéreur un pendule en laiton nickelé suspendu au-dessus d'un disque de cuivre sur lequel a été versée un peu de limaille de nickel ; il fait l'expérience à la manière ordinaire, puis, il abaisse avec précaution le disque. Il constate ainsi qu'il subsiste entre le disque et la boule du pendule une chaîne de grains de limaille, adhérents l'un à l'autre mais sans rigidité : la longueur de ces chaînes peut atteindre 2 cm.

8. *Cohéreurs dans les dilectriques liquides et solides.* — Le phénomène des cohéreurs s'observe non seulement quand les particules conductrices discontinues se trouvent dans l'air, mais aussi dans les liquides diélectriques et même, ce qui peut paraître plus étrange au premier abord, dans des solides.

Lorsque les particules conductrices sont disséminées dans un liquide, elles tendent à se rassembler.

Vicentini (4) en faisant éclater les étincelles d'une machine de Holtz au voisinage de vases renfermant des émulsions de mercure dans l'huile d'olive ou l'essence de térébenthine, a vu les gouttelettes de mercure se rassembler rapidement : il se formait des gouttes dont le nombre et le diamètre croissaient avec le nombre des décharges.

Appleyard (5) a constaté des phénomènes analogues dans une émulsion de mercure avec l'huile de paraffine. A l'état ordinaire, l'émulsion est formée de sphéroïdes très petits et la résistance électrique du liquide est énorme. Sous l'action du courant ou d'une onde hertzienne, la résistance s'abaisse brusquement et les sphéroïdes se rassemblent en larges gouttes.

Des émulsions d'huile de paraffine et d'eau donnent lieu aux mêmes observations. Du mercure, versé dans une telle émulsion, se résout en gouttelettes : si on relie deux de ces gouttelettes aux pôles d'une pile de 200 volts, on les voit se déformer et s'allonger, surtout celle qui est reliée au pôle négatif : quand on maintient le circuit fermé, de

(1) Blondel. *Ass. fr. pour l'avancement des Sciences*, Nantes, 1898 ; *Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 316.
(2) Branly. *Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 1206.
(3) Tommasina. *Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 1014, 1898, t. CXXIX, p. 40, 1899.
(4) Vicentini. *Éclairage Électrique*, t. XI, p. 95.
(5) Appleyard. *Ibid.*, p. 178.

Digitized by Google

la gouttelette négative partent des filaments qui vont rejoindre la gouttelette positive.

Tommasina (1) a observé des mouvements et des agglomérations de grains extrêmement curieux dans les limailles plongées dans des liquides mauvais conducteurs. Il se constitue ainsi des chaînettes qui tendent à réunir les deux électrodes ; mais il ne subsiste jamais qu'une seule de ces chaînettes en contact avec les deux électrodes : dès que ce contact est établi, les autres chaînettes amorcées se détruisent. Inversement si on dérange la chaînette existante très délicatement avec un pinceau, elle se reforme immédiatement par de nouveaux contacts.

Les grains s'orientent le long des lignes de force du champ électrique créé par la différence de potentiel entre les deux électrodes. Dans l'obscurité, on voit des séries de petites étincelles, qui forment comme des chaînes lumineuses : au sommet de toutes les chaînettes en formation, s'aperçoit une sorte d'effluve qui produit un vif mouvement dans la limaille.

Malagoli (2) a effectué des expériences du même genre, en faisant agir directement les courants induits de la bobine, dont les bornes du secondaire étaient reliées aux électrodes comprenant la limaille. D'après lui, ces phénomènes sont dus uniquement à l'influence électrostatique et analogues à la danse des pantins.

Quoi qu'il en soit de cette explication sur la cause même de la formation de ces chaînettes, il est tout indiqué de rattacher les variations de résistance observées dans les cohéreurs à de pareilles formations : les expériences de Tommasina et de Malagoli reproduiraient en grand ce qui se passe en petit dans les cohéreurs. De tous les phénomènes observés, aucun n'est en contradiction avec cette hypothèse : mais il subsiste cependant une difficulté. Ce sont les variations de résistance observées sur les mélanges de poudres métalliques et de diélectriques solides, mélanges dont beaucoup sont d'une dureté qui exclut toute idée de déplacement des particules conductrices.

Fromme (3) propose d'admettre que les étincelles percent le diélectrique et y creusent de petits canaux dont les parois se recouvrent de métal pulvérisé. Cette hypothèse n'a rien d'inacceptable en soi, mais il est bien difficile de la soumettre à une vérification expérimentale.

Peut-être le phénomène a-t-il quelque chose d'analogue avec celui de la polarisation diélectrique. Minchin (4) incorporait les limailles dans une pellicule de gélatine ou de collodion ; la résistance n'est pas affectée par l'étincelle d'une bobine d'induction éclatant dans le voisinage : mais elle s'abaisse brusquement quand on touche avec un conducteur électrisé l'un des fils qui relient la pellicule au reste du circuit. Si on rompt le courant en supprimant le contact entre la pellicule et l'électrode, la conductibilité est détruite : si on rompt le circuit en un autre endroit la conductibilité subsiste. Cette dernière observation tendrait à indiquer que le contact entre la pellicule et l'électrode joue aussi un rôle.

Dans la cire à cacheter, les limailles deviennent conductrices sous l'influence des ondes. Si une pareille lamelle se trouve à l'état non-conducteur et qu'on produise autour d'elle un champ électrique faible, elle devient conductrice : mais quand on augmente le champ, la conductibilité disparaît (Minchin). Une influence de l'intensité du champ sur les variations de résistance des cohéreurs ordinaires a été observé également par Aschkinass.

Si la différence de potentiel maintenue entre les extrémités du cohéreur est très petite,

(1) Tommasina. *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1092 ; t. CXXIX, p. 50; *Écl. Élect.*, t. XIX, p. 278 ; t. XX, p. 35, 75.

(2) Malagoli. *Elettricità*, septembre 1899.

(3) Fromme. *Wied. Ann.*, t. LVIII, p. 96 ; *Écl. Élect.*, t. IX, p. 370.

(4) Minchin. *Phil. Magaz.* (5), t. XXXVII, p. 90 ; *Lum. Élect.*, t. LI, p. 486 ; *Proced. of the Phys. Soc. of London* (2), t. XIII, p. 170 ; *Beibl.*, t. XIX, p. 519.

Digitized by Google

la résistance reste énorme ; si la différence de potentiel atteint 2 volts, la résistance devient très petite et conserve sa valeur quand on rétablit la faible différence de potentiel primitive, on peut alors faire rétrograder le cohéreur, ce qui est impossible tant qu'on laisse agir la grande différence de potentiel. Il paraît y avoir une valeur critique, voisine de 0,2 volt, à laquelle la résistance commence à varier et une valeur maxima au-dessus de laquelle la rétrogradation ne se produit plus.

La différence de potentiel nécessaire à la diminution de la résistance serait réalisée, dans les expériences ordinaires, à la faveur des ondes stationnaires produites par l'action des ondes électromagnétiques : le phénomène serait analogue à une sorte de décharge électrique.

Les expériences de Lhuillier (1) ne sont pas favorables à l'hypothèse d'une modification du milieu interposé entre les particules conductrices. Ainsi quand la limaille de fer plongée dans l'alcool a été rendue conductrice, on peut remplacer l'alcool par de l'alcool neuf ou par un autre liquide diélectrique sans action chimique sur lui : la conductibilité ne varie pas.

Si les diélectriques organiques placés entre des électrodes métalliques deviennent conducteurs, on constate aisément que cette conductibilité est due à la présence de particules de charbon qui proviennent de la décomposition du liquide par les étincelles induites et à celle des particules métalliques empruntées aux électrodes.

9. *Formes diverses de cohéreurs.* — Les cohéreurs sont susceptibles de recevoir des formes très variées, qui possèdent les mêmes propriétés générales, mais se distinguent les unes des autres par leur degré de sensibilité ou par leur rétrogradation plus ou moins aisée.

Toutes choses égales d'ailleurs la sensibilité du cohéreur varie suivant la pression avec laquelle les conducteurs sont appliqués l'un contre l'autre. Von Lang (2) a trouvé que le contact de deux conducteurs (une tige verticale reposant sur une plaque) n'est sensible que pour une certaine valeur de la pression Quand on a atteint cette pression par tâtonnement et que la résistance a changé, la valeur de la pression s'est modifiée : les contacts en charbon conservent au contraire leur sensibilité sans changement de la pression.

Outre les cohéreurs de diverses natures, on en a construit à poudre de charbon (Tommasina, Jervis Smith) (3) : ils sont aussi sensibles aux ondes, mais rétrogradent plus facilement par les chocs : deux crayons de charbon en contact dans un tube de verre forment aussi un cohéreur sensible.

Deux tiges métalliques (ou deux crayons de charbon) sur lesquelles repose tranversalement une troisième tige ; une aiguille reposant par sa pointe sur un disque, etc., forment aussi des cohéreurs.

Au lieu de limailles, on peut prendre aussi des morceaux de métal assez gros, mais réguliers de forme : des copeaux, des billes superposées dans une rainure isolante (Branly) (4), de petites vis en fer ou en cuivre, des spirales plates en fer ou en acier, alignées de façon à ne se toucher que sur une petite région de leur périphérie (Chunder Bose) (5).

10. *Comparaison entre les différents métaux.* — Les propriétés des divers métaux relativement à la construction des cohéreurs ont été l'objet d'une étude systématique de Bose (*Ibid.*). Presque tous les métaux sont susceptibles de fournir des contacts sensibles, pourvu qu'ils soient placés dans des conditions convenables : seulement, pour certains, ces conditions sont difficiles à réaliser.

(1) Lhuillier. *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 245 ; *Éclairage Électrique*, t. V, p. 90.
(2) Von Lang. *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 34 ; *Écl. Élect.*, t. VI, p. 381, 1896.
(3) Jervis Smith. *Electrician*, t. XL, p. 84, 1897 ; *Beibl.*, t. XXII, p. 164.
(4) Branly. *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1899.
(5) Chunder Bose. *Écl. Élect.*, t. XX, p. 314.

Digitized by Google

Certains cohéreurs nouvellement construits et soumis à une faible différence de potentiel augmentent d'abord de résistance sous l'action des ondes; puis ils reprennent leur résistance primitive d'eux-mêmes au bout de quelques instants, ensuite ils se comportent comme d'ordinaire.

EMPLOI DU COHÉREUR DANS L'ÉTUDE DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Le cohéreur constitue un indicateur très sensible pour les ondes électromagnétiques : il se prête très bien aux expériences, qualitatives, pourrait-on dire, dans lesquelles on se propose seulement de mettre en évidence l'existence des ondes dans une région déterminée, assez étendue.

Mais, par contre, il est difficile de l'employer à l'étude des ondes stationnaires, d'une part en raison de son extrême sensibilité, d'autre part, parce qu'il n'existe pas de relation simple entre l'intensité de l'onde et le degré de conductibilité acquis par le cohéreur : en général, sous l'action des ondes, le cohéreur acquiert immédiatement une conductibilité énorme relativement à sa conductibilité normale.

1. *Etude des écrans électromagnétiques.* — Le cohéreur est d'un emploi particulièrement commode dans l'étude des écrans électromagnétiques, comme l'ont montré les expériences de Branly, Veillon, Gutton, Latrille (1).

Branly a trouvé que les ondes hertziennes ne traversaient en aucune manière une enceinte métallique *hermétiquement* close, mais qu'une fente même excessivement fine suffisait à leur livrer passage : elles passent plus facilement par des fentes fines que par des ouvertures rondes ou rectangulaires : la direction et la dimension des fentes jouent un rôle important. Il a cherché aussi jusqu'à quel point les ondes traversaient divers matériaux, du ciment, de la pierre de carrière, du sable. Aucune de ces substances ne forme, sous une épaisseur de quelques décimètres un obstacle infranchissable aux ondes. Le cohéreur placé derrière cesse d'être impressionné seulement quand l'excitateur est éloigné : mais l'action cesse à une distance beaucoup plus petite lorsque les matériaux sont humides. Les liquides exercent sur les ondes électromagnétiques une absorption notable : l'eau pure déjà, mais les dissolutions salines à un degré beaucoup plus prononcé.

Veillon a trouvé qu'une feuille de métal (de 1 m $\times$ 2 m) placée devant le cohéreur ne le protège que si elle est très près du cohéreur (3 cm) et loin de l'excitateur (10 m).

S'il est enfermé complètement dans une boîte métallique, il faut que les parois soient soudées pour que la protection soit absolue : deux parois se recouvrant de 2 cm ne protègent pas le cohéreur placé perpendiculairement à leur bord commun : mais interceptent l'action quand le cohéreur est parallèle à ce bord. L'action est aussi annulée quand la paroi faisant face à l'excitateur est percée d'une ouverture, sur laquelle est soudé un tuyau de zinc.

Gutton constate que l'action sur le cohéreur intercepté par un premier écran réapparaît quand on dispose un second écran en arrière du premier, très près du cohéreur, sauf quand cet écran est dans un plan vertical parallèle à la direction de propagation des ondes. Ce second écran a pour effet de rassembler les ondes qui ont contourné le premier écran et qui sans cela seraient trop faibles pour agir sur le cohéreur. Les lignes de flux énergétique qui doivent être tangentes aux conducteurs longent le premier écran et n'arrivent pas au cohéreur, à moins que le second écran ne les dévie.

Latrille a cherché comment variait l'action des ondes sur un cohéreur protégé par un

(1) Branly. *Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 43; t. CXXVIII, p. 879; t. CXXIX, p. 672; *Écl. Élect.*, t. XVI, p. 155; t. XIX, p. 237; t. XXI, p. 317; Veillon. *Arch. Gén.*, t. V, p. 416; Gutton. *Ibid.*, t. VI, p. 549; Latrille. *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 408; *Écl. Élect.*, t. XVIII, p. 511.

Digitized by Google

écran muni d'une fente, quand on fait varier les dimensions de la fente et l'orientation de l'excitateur, du cohéreur, de la fente. Les variations observées s'expliquent facilement par les propriétés des ondes en admettant que le cohéreur soit plus sensible aux ondes qui lui sont parallèles.

2. *Etude des ondes stationnaires.* — Comme nous l'avons fait remarquer déjà, l'emploi du cohéreur à l'étude des ondes stationnaires et partant à la détermination si importante des longueurs d'onde rencontre des difficultés sérieuses, tenant surtout à l'extrême sensibilité de cet indicateur. Cependant en réglant convenablement cette sensibilité, plusieurs physiciens sont arrivés à surmonter cette difficulté.

Chunder Bose (1) a employé un cohéreur formé de fils d'acier sur lesquels était enroulé un fil de cuivre fin : les contacts sont parallèles à l'axe de l'excitateur. Il a reproduit ainsi avec des appareils de très petites dimensions, sous une forme extrêmement élégante les expériences sur les ondes hertziennes aériennes : réfraction, réflexion, diffraction, polarisation par les réseaux, rotation du plan de polarisation par les corps à structure hélicoïdale.

Le Royer et Van Berchem (2) ont répété avec un cohéreur à limaille l'étude des ondes stationnaires produites par la réflexion (expérience de Sarasin et de la Rive). Le cohéreur ne paraît pas avoir de période propre, car avec deux excitateurs différents, il donne des internœuds différents.

Plus récemment Murani (3) a bien observé un nœud au voisinage du réflecteur : mais ensuite quand il éloigne le cohéreur du réflecteur, la déviation du galvanomètre reste constante quelle que soit la distance : il est probable que le cohéreur est influencé par l'onde directe avant de l'être par l'onde réfléchie.

Drude (4), en déterminant les longueurs d'onde au moyen d'un tube à interférences de Quincke et du cohéreur, obtient des longueurs qui dépendent des dimensions du tube, non de celles du cohéreur.

Behrendsen (5) a construit avec de la poudre de charbon entre deux électrodes d'argent un cohéreur dont la sensibilité est assez faible pour qu'il puisse servir à déceler les ondes stationnaires. Ce cohéreur possède une certaine conductibilité permanente, de sorte que le galvanomètre est toujours dévié : cette déviation varie en général quand on frappe sur le tube du cohéreur ; par tâtonnement, on arrive cependant à obtenir un courant constant et c'est à cet état seulement que le cohéreur est utilisable. Ainsi construit et réglé, ce cohéreur peut servir à répéter les expériences des ondes stationnaires obtenues par réflexion ou par diffraction avec un excitateur de Righi ou de Rubens.

Taudin Chabot (6) emploie un cohéreur formé de deux crayons de charbon verticaux reposant sur un troisième horizontal ; ce contact intermédiaire repose sur un bloc d'ébonite que porte une languette flexible en laiton. A cette languette est attachée une spirale de fil qui est fixée par son autre extrémité à une borne. La spirale est parcourue par le même courant qui passe dans les contacts ou par une dérivation de ce courant.

Quand la résistance des contacts varie sous l'influence des ondes hertziennes, l'intensité du courant varie dans la spirale et par suite l'attraction mutuelle entre les spires successives varie aussi. Si la spirale est en série avec les contacts, une diminution de résistance

(1) Chunder Bose. *Écl. Élect.*, t. XI, p, 33 ; t. XVI, p. 583.
(2) Le Royer et Van Berchem. *Arch. Gén.* (5), t. XXXI ; *Écl. Élect.*, t. XV, p. 373.
(3) Murani. *Nuov. Cim.*, t. VIII, p. 36 ; *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 398.
(4) Drude. *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 481 ; *Écl. Élect.*, t. XVII, p. 372.
(5) Behrendsen. *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 1024.
(6) Taudin Chabot. (Commun. de l'auteur).

***

Digitized by Google

de ceux-ci entraîne une augmentation du courant et une augmentation d'attraction dans les spires : la spirale se contracte : elle doit être alors attachée à la languette du côté opposé à celui des contacts, de façon à agir sur la languette par attraction et à faire disparaître l'augmentation de conductibilité. Si au contraire la spirale est en dérivation sur les contacts, elle doit être attachée à la languette du même côté que ceux-ci.

En résumé, quelle que soit la forme du cohéreur employé, il réagit indifféremment ou à peu près sur les ondes de toute longueur : il ne paraît donc pas posséder de période propre.

AUGMENTATION DE RÉSISTANCE DE CERTAINS CONTACTS

Certains contacts augmentent de résistance sous l'influence des ondes hertziennes.

Branly a signalé (passim) plusieurs cas de ce genre. Telles sont, par exemple, les colonnes de bioxyde de plomb et de sulfure de cuivre, certaines couches métalliques déposées à la surface du verre.

Nous avons vu déjà comment on pouvait expliquer ce dernier phénomène.

En ce qui concerne le bioxyde de plomb, Sundorph (1) a montré que la variation de résistance est liée à une transformation. Deux effets se superposent : l'élévation de température due au passage du courant qui diminue la résistance et la transformation de PbO^2 en PbO qui l'augmente.

CONCLUSIONS

La variation de résistance d'un contact sous l'action des ondes électriques est donc un phénomène extrêmement fréquent : il paraît se produire dans tous les cas où les surfaces en contact sont susceptibles d'être modifiées par le passage des étincelles. Au moins toutes les expériences faites dans ces conditions réussissent à mettre en évidence la variation de résistance.

Les travaux de Arons, de Blondel et de Tommasina, pour ne citer que les plus importants donnent raison à la théorie de Lodge : cependant, il reste une difficulté à lever pour généraliser cette théorie ; il faut faire rentrer dans cette explication les phénomènes observés par Branly, sur les mélanges de poudres conductrices et de diélectriques solides, où la dureté de la matière ne permet aucun déplacement, ni aucun contact immédiat des particules.

Le grand nombre de travaux dont a été l'objet le cohéreur est dû moins à l'intérêt scientifique proprement dit de cette question qu'au rôle essentiel que joue le cohéreur dans la télégraphie sans fils. Nous réserverons l'étude de cette application qui entraînerait de trop longs développements pour un prochain article. M. LAMOTTE.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

La station électrique de Trieste, par **G. Szuk**. *Elektrintichmnsche Zeitschwft*, t. XXI, p. 94, 1er février 1900.

La station électrique de Trieste établie sur l'emplacement d'une ancienne usine à gaz est destinée à fournir non seulement l'énergie nécessaire à la lumière et à la force motrice, mais encore à produire le courant nécessaire aux tramways de la ville.

L'installation a été entièrement faite par la maison Ganz et C°. L'usine (fig. 1 et 2) comprend deux travées parallèles, l'une pour les chaudières, l'autre pour les machines.

Dans la première se trouvent 5 chaudières de

(1) SUNDORPH. *Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 594 ; t. LXIX, p. 319 ; *Écl. Élect.*, t. XX, p. 239 ; t. XXI, p. 315.

Digitized by Google

135 m² de surface de chauffe chacune, donnant une pression de 11 k, et alimentées par l'eau de condensation avec de l'eau de puits adonce. 3 pompes doubles alimentent les chaudières.

Dans la salle des machines se trouvent deux machines compound en tandem, échappant dans

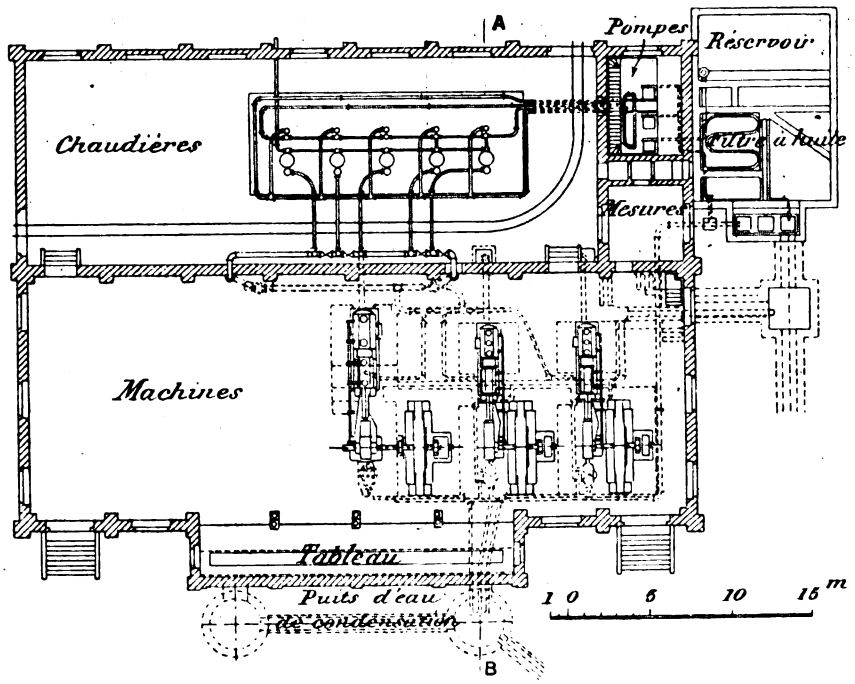


Fig. 1.

des condenseurs à surface et faisant 105 t : m

Cylindre à haute pression,	400	mm.
— basse —	650	—
Course	900	—
Puissance normale	300	chevaux.

Les inducteurs des alternateurs triphasés sont directement couplés sur l'arbre, ainsi que l'excitatrice. Des leviers commandent dans le sous-sol les pompes de circulation et les pompes à air. Dans le sous-sol se trouvent aussi les

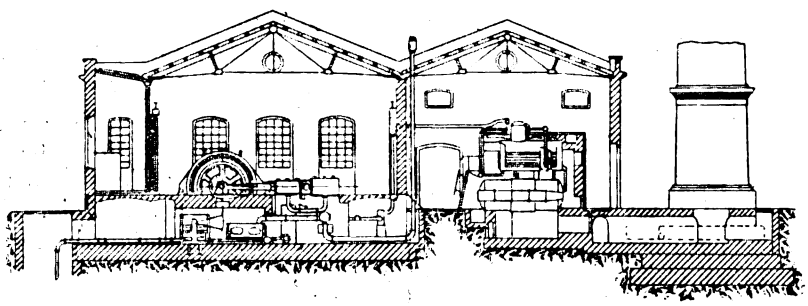


Fig. 2.

condenseurs à surface (90 m² chacun) pour lesquels on emploie de l'eau de mer, l'eau douce étant très coûteuse.

Une troisième machine tandem commande, par accouplements, une dynamo continue et un alternateur ; ce groupe sert donc de réserve pour la lumière et la traction :

Cylindre à haute pression,	450	mm
— basse —	740	—
Course	1,050	—
Puissance normale	450	chevaux.

La consommation garantie à pleine charge est de 6,9 kg par cheval indiqué, le rendement de 86 p. 100. Les essais de recette ont donné de

Digitized by Google

meilleurs résultats. Les régulateurs permettent de faire varier la vitesse, ce qui facilite le couplage.

Le canal d'amenée d'eau froide a 500 mètres de long, depuis la station jusqu'à la mer ; il est en béton ; et la dernière partie, longue de 120 mètres, est placée directement dans la mer, sous forme d'un tube en tôle de 2 mm entouré de béton. Devant l'usine, il débouche dans 2 citernes de 4 m de diamètre et 12 m de profondeur.

Les alternateurs triphasés donnent 2,000 volts, 105 t : m, fréquence 42 (48 pôles). Les inducteurs servent de volant : la couronne en est en fonte, les pôles en acier coulé, avec des épanouissements rapportés. Les enroulements inducteurs sont facilement interchangeables. L'armature est une couronne de fonte en quatre parties, évidée à l'intérieur pour contenir les tôles d'un demi-millimètre pourvues de cloisons de ventilation. Les bobines induites sont isolées à la micanite.

Sur le tableau de distribution, les interrupteurs primaires sont reportés derrière, les appareils de mesure devant. L'un des panneaux contient des compteurs Blathy d'où partent vers la ville deux feeders de 3×70 mm². Le centre de distribution se trouve Piazza Legna. Pour protéger les câbles contre l'eau de mer, on les a entourés de canaux en bois recouverts d'asphalte. Les transformateurs se trouvent soit dans des colonnes de fer, soit dans les maisons.

La longueur des câbles primaires est de 10,5 km ; leur isolement au moment de la recette, fort de 4,6 megohms, y compris les transformateurs.

Chaque lampe à arc a son transformateur spécial logé dans le socle, ce qui la rend indépendante des autres. Ce socle est absolument étanche, car sur le quai il est souvent baigné par les lames.

Dans le marché on garantissait une consommation de 1,450 kg de charbon de Cardiff commercial par kilowatt-heure de charge non inductive au tableau de distribution ; les pénalités pour de plus hautes consommations étaient très élevées. Dans ce chiffre était comprise la consommation des pompes, etc. Aux essais, ce chiffre n'a même pas été atteint. Pour les transformateurs on garantissait les chiffres suivants :

Puissance (k 4)	Rendement à pleine charge	Rendement à demi charge
3	94,4	83,8
5	94,8	85,8
8	95,4	87,9
12	95,7	88,9
15	96,0	89,6
20	96,2	90,4
30	96,5	91,0

Ces chiffres ont été atteints. E. B.

Procédé d'excitation magnétique de la E. A. G. Helios. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVII, p. 56. 15 décembre 1899.

La disposition de la Société Helios permet d'obtenir un champ magnétique qui reste constant en direction et en intensité, même lorsque le courant de l'induit, soit comme générateur, soit comme moteur, change entre de larges limites. On obtient ainsi que l'induit donne à vitesse constante une tension constante ou à tension constante une vitesse constante ; en outre, pour une position convenable des balais, on évite toute étincelle au collecteur.

L'inducteur est établi sous forme d'enveloppe ou de cylindre pour machine à pôles extérieurs ou intérieurs, avec distribution uniforme du fer à distance égale de l'induit sur tout le tour, comme pour les moteurs d'induction à courant alternatif ; cependant pour l'excitation à courant continu, il n'est pas indispensable d'employer du fer lamellaire. Il n'y a pas de pièces polaires, et contrairement à ce qui a lieu pour les inducteurs ordinaires, la section de fer et la résistance d'air pour le flux magnétique sont égales sur tout le pourtour.

La surface de l'inducteur tournée vers l'induit est enveloppée par deux groupes différents d'enroulements. La figure 1 représente un inducteur F à enroulement en anneau avec disposition des pôles à l'extérieur ; A est l'induit, C l'inverseur, et B les balais. L'enroulement S_1 (*abcd*) est en dérivation sur les conducteurs de ligne L ; le deuxième enroulement S_2 (*efgh*) est en série avec l'induit. Tous deux sont disposés en bipolaire, de façon que les milieux des pôles d'un groupe diffère des milieux de ceux de l'autre groupe d'une demi-distance de pôles, comme dans les appareils d'induction biphasés. Les fils de ces deux enroulements peuvent être juxtaposés ou superposés.

Le nombre de tours de S_2 est indépendant de celui de S_1 ; ce qui convient le mieux est de le

Digitized by Google

prendre égal au nombre de tours des sections actives de l'induit ou approchant de ce nombre. Les deux groupes d'enroulements produisent simultanément l'excitation, l'axe du champ

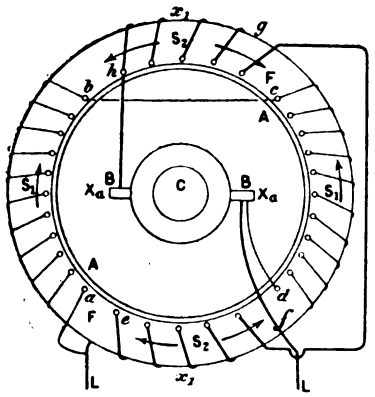


Fig. 1.

résultant coïncide avec le champ x_1 produit en dérivation, quand aucun courant ne traverse S_2 et au contraire fait avec x_1 un certain angle dans un sens ou dans l'autre, suivant l'intensité et la direction du courant de S_2. L'enroulement S_2 est disposé dans le circuit principal, de sorte que le champ excité dans l'armature forme avec celui x_a de l'induit un angle obtus, le même que l'induit soit générateur ou moteur.

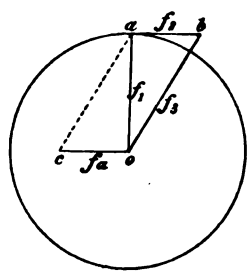


Fig. 2.

oa étant en grandeur et direction, le champ f_1 excité par la dérivation, et *ab* le champ f_2 excité par l'enroulement de compensation S_2, ces deux vecteurs se composent suivant f_3, qui se compose avec le champ d'induit f_a représenté par le vecteur *oc* pour donner le champ résultant, c'est-à-dire le champ total de la dynamo. On choisit le nombre de tours de l'enroulement de compensation égal au nombre des tours actifs de l'induit ; alors, le courant change de la même façon dans tous deux, $oc = -ab$ et par suite le champ total est égal à f_1 de quelque façon que le courant de l'induit change en direction et intensité.

Des résistances intercalées dans le circuit de dérivation permettent de changer l'intensité du champ résultant ; mais affaibli ou renforcé il reste toujours indépendant des changements de courant de l'induit. G. G.

Alternateur compound de la General Electric C°.

La General Electric C° vient de construire un alternateur à inducteur tournant dont le mode d'excitation présente quelque particularité ; il produit une compensation automatique de la chute de potentiel due à la réaction d'induit en tenant compte de la grandeur de la charge et de la réactance du circuit.

La caractéristique interne d'un alternateur, à mesure que celui-ci fournit un courant plus intense, baisse d'autant plus vite que la charge est plus inductive. Pour maintenir constante la différence de potentiel aux bornes du générateur, il faut donc pouvoir disposer, dans l'excitation d'une certaine latitude d'autant plus grande que la reaction du circuit externe est elle-même plus grande. Il faut donc obtenir une courbe d'aimantation assez inclinée après le genou pour que la force électromotrice puisse être accrue suffisamment sans accroître le nombre des ampères-tours sur les inducteurs afin de ne pas diminuer le rendement pour les charges inductives un peu importantes. Ceci peut être réalisé.

Quant à l'auto-excitation, elle est produite de la façon suivante : l'arbre YY de l'alternateur porte l'inducteur B multipolaire tournant de celui-ci et l'induit *a* de l'excitatrice ; celle-ci ayant même nombre de pôles, les deux machines marchent synchroniquement. Les pôles *b* de l'excitatrice sont portés par la couronne externe XX de l'appareil à laquelle est fixé aussi l'induit A de l'alternateur. Dans le cas d'un alternateur triphasé (fig. 1), par exemple, les sections de l'induit de l'excitatrice sont connectées à un collecteur à lame *m* qui fournit le courant continu pour l'inducteur B. L'enroulement induit de l'excitatrice est en outre relié à un collecteur *p* à trois anneaux qui en fait un petit convertisseur tournant synchrone du générateur.

Digitized by Google

Des bornes q de l'alternateur partent les conducteurs d'alimentation, sur lesquels sont insérés les primaires des trois transformateurs t_1, t_2, t_3, dont les secondaires, montés en étoile,

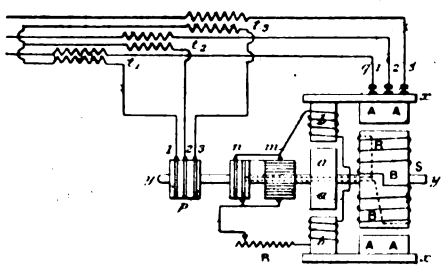


Fig. 1.

sont reliés aux balais du collecteur à trois anneaux. Cette disposition permet pour ainsi dire, quand l'alternateur est chargé, d'introduire dans l'induit de l'excitatrice un courant alternatif qui y est redressé et envoyé dans les inducteurs de l'alternateur dont ils modifient la force électromotrice.

En effet, pendant la marche à vide de l'alternateur, l'excitatrice fonctionnant comme génératrice envoie dans chacun des secondaires des transformateurs un courant alternatif de faible intensité qui induit dans les primaires une tension insignifiante. Si l'on introduit dans le circuit d'alimentation une charge triphasée non inductive, telle que le courant correspondant produise entre les bornes des primaires une tension plus sensible que la précédente, les secondaires au lieu d'absorber le courant produit par l'excitatrice engendrent un courant qui traverse cette machine et celle-ci commence à fonctionner partiellement comme convertisseur. L'augmentation de la tension continue fait croître le courant d'excitation, et la force électromotrice de l'alternateur augmente ; cette augmentation peut compenser la chute de potentiel due à la réaction d'induit entre des limites écartées de charge non inductive.

Les secondaires des transformateurs doivent être reliés aux anneaux du collecteur qui correspondent respectivement, dans l'ordre de phase, aux bornes du générateur auxquelles sont reliés les primaires.

Dans le cas d'une charge inductive ou comprenant inductance et capacité, le courant triphasé est déplacé relativement à la tension aux bornes du générateur. Si le courant qui traverse l'induit de l'alternateur-générateur est en retard par rapport à la force électromotrice principale, il produit une distorsion du champ magnétique qui fait diminuer la tension aux bornes ; si le courant est en avance, cette tension est au contraire accrue. C'est le contraire qui a lieu si l'alternateur fonctionne comme moteur synchrone. Un convertisseur alimenté par du courant continu et produisant un courant triphasé se trouve approximativement dans les conditions d'un générateur ; alimenté par un courant triphasé et produisant du courant continu, il est au contraire dans les conditions d'un moteur synchrone.

Il s'ensuit que si la charge produit un retard des courants primaires, les courants secondaires sont retardés ; en traversant l'induit de l'excitatrice qui fonctionne en partie comme commutatrice, ils renforcent pour ainsi dire le champ, la tension augmente et avec elle le courant d'excitation et par suite la force électromotrice de l'alternateur de façon à compenser la réaction d'induit.

Si au contraire le circuit d'alimentation est tel que le courant soit en avance sur la tension, les variations ont lieu en sens inverse. Et la tension qui aurait tendance à croître sera réduite par la diminution de l'excitation.

Cette régulation tient donc compte et des variations d'intensité du courant d'alimentation et de son déplacement de phase par rapport à la tension.

Les machines de ce genre peuvent travailler à leur puissance nominale sans que la température dépasse de plus de 40° la température ambiante ; avec une surcharge de 25 p. 100 pendant deux heures l'élévation ne dépasse pas 55°. Elles peuvent produire d'une manière continue 80 p. 100 de la puissance nominale sur un seul des trois circuits, fonctionnant comme machine monophasée sans que l'élévation dépasse 40°, elles peuvent produire de la même manière toute leur puissance pendant 3 heures sans que l'élévation de température devienne nuisible. Ces machines conviennent donc particulièrement pour les distributions mixtes de lumière et force motrice. G. G.

Convertisseurs de phase, par **R.-W. Quick**. *Electrical World*, vol. XXXV, n° 1, p. 14. 6 janvier 1900.

La théorie des convertisseurs de phase, c'est-

Digitized by Google

à-dire des appareils transformant un système de courants polyphasés d'un ordre quelconque en un autre d'ordre différent, que présente M. Quick, est calquée sur celle des commutatrices faites par divers auteurs (1).

Comme dans toutes les théories des commutatrices, le point de départ est de déterminer les pertes par effet Joule dans l'induit.

Supposons qu'il s'agisse d'un transformateur formé d'une dynamo bipolaire dont l'induit est muni de deux séries de bagues de prise de courant, l'une destinée à recevoir un système de courants polyphasés à m phases et l'autre à délivrer un système polyphasé à n phases.

La première série aboutit (fig. 1) aux points

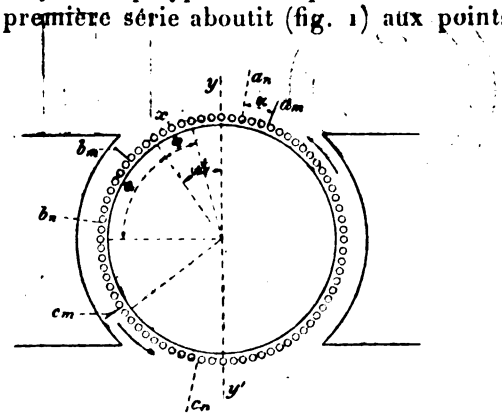


Fig. 1.

de jonction a_m, b_m, c_m, etc., et la seconde aux points de jonction a_n, b_n, c_n etc.; l'angle le plus petit que font deux points de jonction voisins des deux systèmes sera désigné par a. Le temps sera compté à partir du moment où le milieu de l'enroulement d'une des phases du second système, $a_n\ b_n$ par exemple, passera à la ligne neutre $y\ y'$.

Soient :

E_m, la différence de potentiel maxima entre deux conducteurs voisins du premier système;

E_n, la différence de potentiel maxima entre deux conducteurs voisins du second système;

E_o, la différence de potentiel maxima entre chacune des bagues et le point neutre, cette tension simple étant évidemment la même dans les deux systèmes;

E, la différence de potentiel continue que donnerait l'appareil s'il était muni d'un collecteur comme une commutatrice ordinaire;

I, la moitié du courant continu que donnerait cette commutatrice fictive pour une puissance convenable fournie par les courants alternatifs.

La valeur du courant instantané dans un conducteur x compris entre les points de jonction a_n et b_m, partie commune des sections $a_n\ b_n$, $a_m\ b_m$, est évidemment la différence entre les courants alternatifs dans les sections $a_n\ b_n$ et $a_m\ b_m$.

Si donc les courants instantanés dans les deux sections sont respectivement

$$i_n = I_n \sin \omega t$$
$$i_m = I_m \sin (\omega t - \beta),$$

β étant la différence de phase entre ces deux courants; nous aurons pour la valeur du courant dans un conducteur compris entre a_n et b_m

$$i = I_n \sin \omega t - I_m \sin (\omega t - \beta). \qquad (1)$$

Il est intéressant de comparer la perte par effet Joule dans l'induit à celle qui existerait, si la puissance totale fournie ou débitée par l'un des systèmes de courants polyphasés était transformée en courant continu. En écrivant que ces puissances sont égales, on a comme on l'a vu dans la théorie des commutatrices en admettant qu'il n'y a pas de décalage entre les courants et tensions (1) :

$$I_n = \frac{4I}{n \sin \frac{\pi}{n}} \qquad I_m = \frac{4I}{m \sin \frac{\pi}{m}}. \qquad (2)$$

L'expression du courant résultant devient

$$i = I \left[\frac{4}{n \sin \frac{\pi}{n}} \sin \omega t - \frac{4}{m \sin \frac{\pi}{m}} \sin (\omega t - \beta) \right]$$

et celle de la perte par effet Joule dans le conducteur considéré est, r étant sa résistance,

$$h_x = ri^2 = rI^2 \left[\frac{4}{n \sin \frac{\pi}{n}} \sin \omega t - \frac{4}{m \sin \frac{\pi}{m}} \sin (\omega t - \beta) \right]^2 \qquad (3)$$

Pour avoir la quantité de chaleur perdue par seconde, il suffit d'intégrer cette expression pour

(1) Voir en particulier : Steinmetz, *Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 337, 11 mars 1899; Kapp, *Éclairage Electrique*, t. XVIII, p. 379, 11 mars 1899.

(1) Voir Steinmetz, *loc. cit.*

Digitized by Google

une période et de diviser le résultat par la durée de cette période ; on a ainsi

$$H_x = \frac{1}{T}\int_o^T ri^2 dt = rI^2\left[\frac{8}{n^2\sin^2\frac{\pi}{n}} + \frac{8}{m^2\sin^2\frac{\pi}{m}} - \frac{16}{mn\,\sin\frac{\pi}{n}\,.\,\sin\frac{\pi}{m}}\cos\beta\right] \quad (4)$$

La quantité moyenne de chaleur perdue dans tous les conducteurs de la partie $a_n\ b_m$ de l'induit est évidemment la même, mais elle diffère de celle perdue dans chaque conducteur de la partie suivante $b_m\ b_n$ parce que l'angle de décalage β n'est plus le même et devient β', le courant du premier système étant maintenant celui de la second phase $b_m\ c_m$. Pour trouver la quantité d'énergie perdue par seconde dans tout l'induit, il est nécessaire de calculer la perte moyenne dans chacun des tronçons formés par les points de jonction des deux systèmes polyphasés.

Une théorie générale serait donc assez ardue ici, aussi M. Quick se contente-t-il d'examiner quelques cas particuliers que l'on rencontre plus ordinairement en pratique.

1° *Convertisseur de courant alternatif simple en courants triphasés ou vice versa.*

Supposons qu'aucun des points de jonction du triphasé ne coïncide avec un point de jonction du monophasé (fig. 4), α étant le décalage entre a_2 et a_3 ; on a $n = 2$, $m = 3$. Nous avons 5 parties différentes $a_n\ b_m$ pour lesquelles les pertes moyennes par effet Joule sont proportionnelles aux nombres

$$\left.\begin{aligned}
Ha_2b_3 &= rI^2\left[3{,}185 - \frac{16}{3\sqrt{3}}\cos(30+\alpha)\right]\left(\frac{2\pi}{3}-\alpha\right)\\
Hb_3b_2 &= rI^2\left[3{,}185 - \frac{16}{3\sqrt{3}}\cos(90-\alpha)\right]\left(\frac{\pi}{3}+\alpha\right)\\
Hb_2c_3 &= rI^2\left[3{,}185 - \frac{16}{3\sqrt{3}}\cos(90+\alpha)\right]\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right)\\
Hc_3a_3 &= rI^2\left[3{,}185 - \frac{16}{3\sqrt{3}}\cos(30-\alpha)\right]\ \frac{2\pi}{3}\\
Ha_3a_2 &= rI^2\left[3{,}185 - \frac{16}{3\sqrt{3}}\cos(150-\alpha)\right]\ \alpha
\end{aligned}\right\} \quad (5)$$

le coefficient de proportionnalité étant le quotient du nombre de conducteurs totaux par 2π (si les conducteurs sont en série).

La somme est :

$$H = rI^2\left(3{,}185 - \frac{16}{3}\left[\left(\frac{1}{3}-\frac{\alpha}{2\pi}\right)\cos\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2\pi}\alpha\sin\alpha\right]\right) \quad (6)$$

Cette somme dépend de α c'est-à-dire de la position relative des points de connection des bagues de prise ou d'amenée de courant. Elle est maxima pour $\alpha = \frac{\pi}{6}$ ce qui donne

$$H = 1{,}645\ rI^2$$

et minima pour $\alpha = o$ ce qui conduit à

$$H = 1{,}408\ rI^2$$

Le second cas est celui de la figure 2, les pertes moyennes par conducteur le long de la périphérie et déduites de chacune des équations 5 sont représentées sur la figure 3 ; on voit que dans la section $b_3\ b_2\ c_3$ la perte par conducteur est 3,185 r I² pour 0,519 r I² dans le reste ou les deux autres tiers de l'induit, c'est-à-dire environ 6 fois plus grande dans un tiers que dans les deux autres.

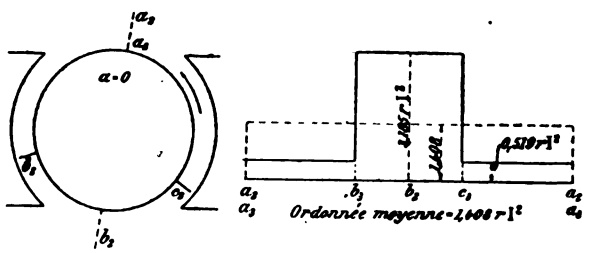


Fig. 2 et 3.

Pour $\alpha = 30°$ (fig. 4) le phénomène est plus complexe, les pertes moyennes par conducteur

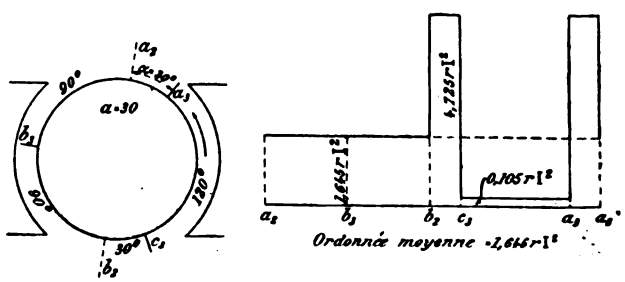


Fig. 4 et 5.

représentées sur la figure 5 sont de 1,645 r I² de a_2 en b_2, de 4,725 r I² de $b_2\ c_3$ et $a_3\ a_2$ (un douzième de la circonférence de l'induit pour chacune de ces deux parties), et enfin de 0,105 r I² dans la phase $c_3\ a_3$ du système triphasé ; dans la première portion l'échauffement est donc 45 fois plus grand que dans la troisième.

Ceci montre suffisamment l'intérêt qu'on a à

Digitized by Google

disposer les connexions comme celles de la figure 2.

2° *Convertisseur de courant monophasé en courants quadriphasés ou vice versa.*

On a dans ce cas $n = 2$, $m = 4$ et les pertes moyennes dans chaque portion sont proportionnelles à

$$\left.\begin{aligned}
H &= Ha_2b_1 = rI^2\left[3-2\sqrt{2}\cos(45+\alpha)\right]\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)\\
&= Hb_1c_1 = rI^2\left[3-2\sqrt{2}\cos(45-\alpha)\right]\frac{\pi}{2}\\
&= Hc_1b_2 = rI^2\left[3-2\sqrt{2}\cos(135-\alpha)\right]\alpha\\
&= Hb_2d_1 = rI^2\left[3-2\sqrt{2}\cos(45+\alpha)\right]\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)\\
&= Hd_1a_1 = rI^2\left[3-2\sqrt{2}\cos(45-\alpha)\right]\frac{\pi}{2}\\
&= Ha_1a_2 = rI^2\left[3-2\sqrt{2}\cos(135-\alpha)\right]\alpha
\end{aligned}\right\}(7)$$

Ce qui donne un total de

$$H = rI^2\left\{3-2\sqrt{2}\left[\frac{1}{\sqrt{2}}\cos\alpha-\frac{\sqrt{2}}{\pi}\alpha(\cos\alpha-\sin\alpha)\right]\right\}(8)$$

La somme des pertes moyennes passe suivant les valeurs de α par un maximum $H = 1{,}586\ r\,I^2$ pour $\alpha = \frac{\pi}{2_1}$ et par un minimum $H = r\,I^2$ pour $\alpha = 0$.

Dans le premier cas, les pertes par conducteur sont égales sur une moitié de l'induit à $3\ r\ I^2$ (fig. 7) et sur l'autre moitié à $0{,}172\ r\ I^2$, c'est-à-dire à plus de 17 fois moins.

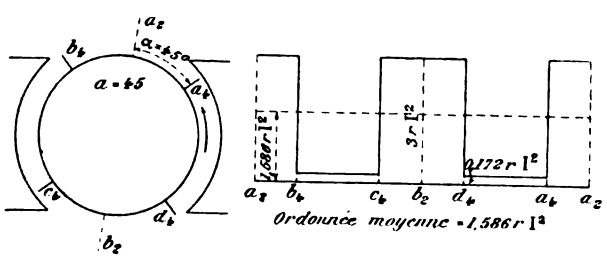


Fig. 6 et 7.

Dans le second cas au contraire (fig. 8 et 9) les pertes sont les mêmes pour tous les conducteurs ; cette seconde disposition est donc plus avantageuse à un double point de vue, celui de l'échauffement uniforme et celui de l'échauffement minimum.

3° *Convertisseur de courants quadriphasés en courants triphasés ou vice versa.*

On a ici $n = 4$, $m = 3$ Les pertes moyennes

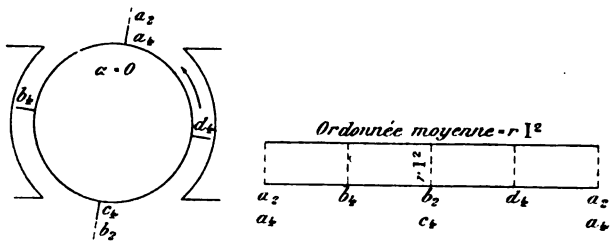


Fig. 8 et 9.

dans chaque portion séparée par les points de jonction (fig. 10) sont proportionnelles à

$$\left.\begin{aligned}
Ha_4b_1 &= rI^2\left[2{,}185-\frac{8\sqrt{2}}{3\sqrt{3}}\cos(15-\alpha)\right]\frac{\pi}{2}\\
Hb_1b_3 &= rI^2\left[2{,}185-\frac{8\sqrt{2}}{3\sqrt{3}}\cos(75+\alpha)\right]\left(\frac{\pi}{6}-\alpha\right)\\
Hb_3c_1 &= rI^2\left[2{,}185-\frac{8\sqrt{2}}{3\sqrt{3}}\cos(45-\alpha)\right]\left(\frac{\pi}{3}+\alpha\right)\\
Hc_1c_3 &= rI^2\left[2{,}185-\frac{8\sqrt{2}}{3\sqrt{3}}\cos(45+\alpha)\right]\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right)\\
Hc_3d_1 &= rI^2\left[2{,}185-\frac{8\sqrt{2}}{3\sqrt{3}}\cos(75-\alpha)\right]\left(\frac{\pi}{6}+\alpha\right)\\
Hd_1a_3 &= rI^2\left[2{,}185-\frac{8\sqrt{2}}{3\sqrt{3}}\cos(15+\alpha)\right]\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)\\
Ha_3a_1 &= rI^2\left[2{,}185-\frac{8\sqrt{2}}{3\sqrt{3}}\cos(105-\alpha)\right]\alpha
\end{aligned}\right\}(9)$$

ce qui donne un total de

$$H = rI^2\left\{2{,}185-\frac{8\sqrt{2}}{3\sqrt{3}}\left[\left(\frac{\sqrt{2}}{6}+\frac{1}{6}\sin\frac{\pi}{12}+\frac{1}{2}\cos\frac{\pi}{12}-\frac{\alpha}{2\pi}\left[\cos\frac{\pi}{12}+\sin\frac{\pi}{12}\right]\right)\cos\alpha+\alpha\sin\alpha\left(\frac{2}{\pi}\cos\frac{\pi}{12}+\frac{\sqrt{2}}{4\pi}\right)\right]\right\}\quad(10)$$

Cette expression a encore un minimum $H = 0{,}527\ r\,I^2$ pour $\alpha = 0$ et un maximum $H = 0{,}584\ r\,I^2$ pour $\alpha = 15°$.

Dans ce second cas les pertes par conducteur dans chacun des tronçons sont représentées sur la figure 11. Les pertes minima ont lieu entre a_1 et b_4 et sont 260 fois moindres que les parties $b_4\ b_2$ et $a_3\ a_4$.

Dans le premier (fig. 12) les pertes minima sont seulement 20 fois moindres environ que les pertes maxima (fig. 13).

***

Digitized by Google

Il est intéressant de remarquer que dans le cas d'un transformateur de courants quadriphasés en courants triphasés, l'échauffement à égalité de puissance débitée est moindre que si l'appareil fonctionne commemachine à courant continu.

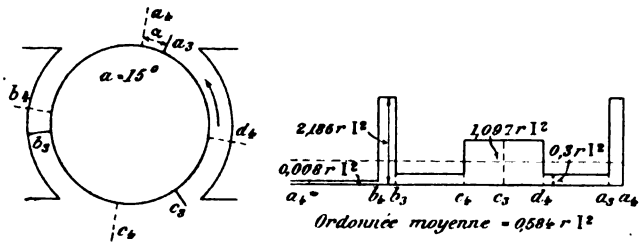


Fig. 10 et 11.

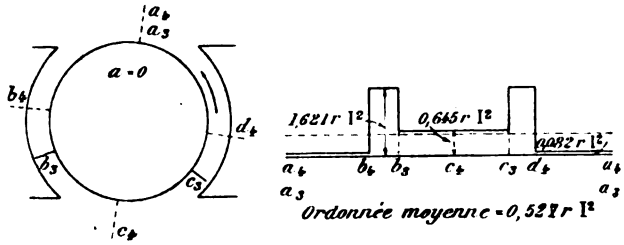


Fig. 12 et 13.

Les résultats précédents en prenant comme comme unité le fonctionnement en continu peuvent être résumés dans le tableau suivant :

TABLEAU I

	COURANT continu	CONVERTISSEUR de courant alternatif simple en courants triphasés		CONVERTISSEUR de courant alternatif simple en courants quadriphasés		CONVERTISSEUR de courants quadriphasés en courants triphasés	
		α		α		α	
Perte moyenne totale maxima	1	30°	1,645	45°	1,586	15°	0,584
Perte moyenne totale minima	1	0	1,408	0	1	0	0,527
Perte moyenne maxima dans un conducteur	1	30°	4,725	45°	3	15°	2,185
	1	0	3,185	0	1	0	1,621
Perte moyenne minima dans un conducteur	1	30°	0,105	45°	0,172	15°	0,008
	1	0	0,519	0	1	0	0,082

Ce tableau montre que dans tous les convertisseurs de phases considérés on a intérêt à faire coïncider une prise de courant de l'un des systèmes polyphasés avec une de l'autre, non seulement à cause de la diminution de la perte totale, mais encore à cause de la moindre différence entre les pertes maxima et minima sur deux conducteurs quelconques de l'induit.

EFFET DU DÉCALAGE. — Ce qui précède suppose que les courants sont en coïncidence avec les différences de potentiel aux bornes. Il est facile, comme on le sait, de tenir compte du décalage des courants par rapport aux tensions. Si l'on désigne en effet par φ_n et φ_m les décalages entre les tensions et les courants dans les deux systèmes polyphasés on a, au lieu de deux relations (2), les relations

$$I_n = \frac{4I}{n \sin\frac{\pi}{n}\cos\varphi_n}, \qquad I^m = \frac{4I}{m \sin\frac{\pi}{m}\cos\varphi_m}.$$

L'expression (4) de la perte par effet Joule dans un conducteur quelconque devient alors

$$H_x = rI^2\left[\frac{8}{n^2\sin^2\frac{\pi}{n}\cos^2\varphi_n} + \frac{8}{m^2\sin^2\frac{\pi}{m}\cos^2\varphi_m} - \frac{16\cos(\zeta+\varphi_m-\varphi_n)}{mn\sin\frac{\pi}{n}\sin\frac{\pi}{m}\cos\varphi_n\cos\varphi_m}\right] \quad (11)$$

laquelle doit être appliquée à chacun des tronçons.

Quelques cas particuliers sont intéressants à considérer.

1° Supposons tout d'abord que les facteurs de puissance des deux systèmes soient les mêmes ; on a alors $\varphi_n = \varphi_m$ et l'expression (11) n'est alors autre que l'expression (4) multipliée par le facteur $\frac{1}{\cos^2\varphi_n}$. En particulier pour $\varphi_n = 30°$ l'énergie perdue en chaleur est 33 p. 100 plus grande que si les facteurs de puissance étaient égaux à l'unité ;

2° La puissance utilisée a un facteur de puis-

Digitized by Google

sance égal à l'unité, mais celle fournie à l'appareil a un facteur de puissance égal à $\cos\varphi_m$. Dans ce cas, l'augmentation des pertes par effet Joule dépend du genre de la transformation, il n'y a plus non seulement réciprocité comme dans le cas précédent, mais encore indépendance du genre de transformation.

Prenons par exemple $\varphi_m = 30°$ et $\varphi_n = 0$; chacun des cas étudiés précédemment doit être repris, les valeurs des pertes moyennes peuvent encore être obtenues des équations (6), (8) et (10) en y changeant les deux premières constantes et en remplaçant $\cos(\alpha+30)$ et $\sin(\alpha+30)$ par $\cos\alpha$ et $\sin\alpha$, la figure 1 montre en effet que l'angle α pour chaque phase est simplement augmenté du retard φ_m. Les résultats obtenus dans les trois cas étudiés sont consignés dans le tableau II,

3° La puissance fournie à l'appareil a un facteur de puissance égal à l'unité tandis que celle débitée correspond à un décalage φ_n.

Bien que les pertes pour un $\cos\varphi$ égal à 1 soient les mêmes dans un appareil déterminé transformant des courants à m phases en courants à n phases et vice versa, il n'en est plus de même ici lorsque l'un des facteurs de puissance est plus petit que 1.

On obtiendra les pertes par effet Joule en changeant comme dans le cas précédent les deux premières constantes et en remplaçant $\cos(\alpha-30)$ et $\sin(\alpha-30)$ par $\cos\alpha$ et $\sin\alpha$ respectivement.

Les résultats obtenus avec $\varphi_n = 30°$ sont consignés dans le tableau suivant :

TABLEAU II

	MONOPHASÉ en triphasé	TRIPHASÉ en monophasé	MONOPHASÉ en quadriphasé	QUADRIPHASÉ EN monophasé	QUADRIPHASÉ EN triphasé	TRIPHASÉ en quadriphasé
Perte par effet Joule comparée au fonctionnement en continu pour un décalage de 30° des courants d'alimentation sans décalage des courants débités.	$\alpha = 30$ 2,041 $\alpha = 0$ 1,803	$\alpha = 30$ 2,311 $\alpha = 0$ 2,074	$\alpha = 45$ 1,919 $\alpha = 0$ 1,333	$\alpha = 45$ 2,252 $\alpha = 0$ 1,666	$\alpha = 15$ 0,978 $\alpha = 0$ 0,922	$\alpha = 15$ 0,916 $\alpha = 0$ 0,860
Perte par effet Joule comparée au fonctionnement en continu pour un $\cos\varphi = 1$ à la puissance d'alimentation et un décalage de 30° des courants débités.	$\alpha = 30$ 2,193 $\alpha = 0$ 1,877	$\alpha = 30$ 2,193 $\alpha = 0$ 1,877	$\alpha = 45$ 2,45 $\alpha = 0$ 1,333	$\alpha = 45$ 2,115 $\alpha = 0$ 1,166	$\alpha = 15$ 0,779 $\alpha = 0$ 0,703	$\alpha = 15$ 0,779 $\alpha = 0$ 0,703

Les deux dernières lignes sont obtenues en augmentant les deux premières lignes du tableau I de 33 p. 100. On voit que pour l'échauffement minimum, qu'il y ait ou non un retard des courants, il y a toujours une prise de courant du premier système qui coïncide avec une du second ($\alpha = 0$). On remarquera de plus que l'accroissement de pertes résultant du décalage des courants de la puissance d'alimentation est plus grand dans la transformation du triphasé en diphasé ou dans la transformation inverse que dans la transformation du monophasé en triphasé ; ces accroissements sont en effet de 63 p. 100 dans le premier cas et 28 dans le second.

Les pertes avec un décalage dans les courants d'alimentation sont plus grandes lorsqu'on passe d'un nombre de phases donné à un nombre plus petit que dans le cas contraire, alors qu'elles sont les mêmes s'il n'y a aucun décalage.

RÉACTION D'INDUIT. — Dans tous les convertisseurs de courant monophasé en courants polyphasés ou vice versa, la réaction d'induit est pulsatoire comme dans les commutatrices monophasées.

Dans les convertisseurs de courants polyphasés en courants polyphasés d'un autre ordre, la réaction sera constante et sera la résultante des réactions dues à chaque système de courants polyphasés, en général les réactions se détruisent partiellement et la réaction résultante sera très petite à moins qu'il n'y ait un retard ou une avance plus grande dans l'une des phases que dans les autres. Avec un facteur de puissance égal à l'unité dans le circuit d'utilisation et un retard de phase dans les courants fournis à

Digitized by Google

l'appareil la réaction résultante affaiblit le champ inducteur tandis que celui-ci est renforcé dans le cas contraire où l'énergie fournie par l'appareil a un facteur de puissance égal à l'unité.

De même que dans un moteur synchrone, le facteur de puissance peut être changé dans un convertisseur de phase en variant l'excitation. En augmentant celle-ci on peut arriver à donner une avance de phase aux courants débités par l'appareil.

Les tensions entre les deux conducteurs voisins de chaque système sont comme dans une commutatrice dans un rapport déterminé qu'on peut calculer par les formules

$$E_m = 2\,E_0 \sin\frac{\pi}{m}\,,\quad E_n = 2\,E_0 \sin\frac{\pi}{n}\,.$$

Dans le cas d'un convertisseur de monophasé en triphasé on a

$$E_2 = 2\,E,\quad E_3 = E\sqrt{3}\quad\text{et}\quad E_3 = \frac{\sqrt{3}}{2}\,E_2.$$

Ce rapport évidemment est le même que le précédent dans le cas d'un convertisseur de courants diphasés (ou mieux quadriphasés) en courants triphasés. Dans un transformateur de phase de monophasé en diphasé le rapport est égal à l'unité. J. R.

Mesure du facteur de puissance, par **J. Bowie.** *Electrical World*, t. XXXIV, n° 24, 9 décembre 1899.

On sait que dans le cas où la tension et le courant dans un appareil à courant alternatif ne sont pas des fonctions sinusoïdales du temps, le facteur de puissance n'est plus le cosinus du décalage des zéros des courbes périodiques.

C'est le calcul de son expression en fonction de ce décalage des zéros que se propose tout d'abord l'auteur.

Soit e la valeur instantanée de la différence de potentiel aux bornes d'un circuit, son expression générale mise sous forme de série de Fourier peut s'écrire, en admettant comme il est d'usage que deux demi-ondes successives des courbes périodiques sont les mêmes au signe près

$$\begin{aligned} e = {} & A_1 \sin x + A_3 \sin 3x + A_5 \sin 5x + \dots \\ & + B_1 \cos x + B_3 \cos 3x + B_5 \sin 5x + \dots \end{aligned} \qquad (1)$$

où x est une fonction du temps $\frac{2\pi t}{T}$.

Nous supposerons que l'origine du temps correspond à un zéro de la courbe périodique, ce qui revient à admettre qu'on a la relation,

$$B_1 + B_3 + \dots = 0.$$

Si le courant i était en coïncidence de phase avec la tension, son expression serait

$$\begin{aligned} i = {} & A'_1 \sin x + A'_3 \sin 3x + A'_5 \sin 5x + \dots \\ & + B'_1 \cos x + B'_3 \cos 3x + B'_5 \cos 5x + \dots, \end{aligned}$$

avec toujours

$$B'_1 + B'_3 + \dots = 0.$$

S'il existe un décalage β entre les zéros des deux courbes périodiques du courant et de la tension, l'expression de la valeur du courant s'obtiendra évidemment en remplaçant x par $x - \beta$ et l'on aura :

$$\begin{aligned} i = {} & A'_1 \sin(x-\beta) + A'_3 \sin 3(x-\beta) + \dots \\ & + B'_1 \cos(x-\beta) + B'_3 \cos 3(x-\beta) + \dots \end{aligned} \qquad (2)$$

Ceci posé cherchons l'expression du facteur de puissance. Nous avons d'abord à calculer les valeurs efficaces de la tension et du courant.

Le carré de la valeur efficace de la tension est donné par

$$E^2 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} e^2\,dx\,,$$

ce qui, tout calcul fait, se réduit comme on le sait à

$$E^2 = \frac{1}{2}\left[\sum_{m=1}^{m=\infty}\left(A_m^2 + B_m^2\right)\right];$$

d'où l'on tire

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\Sigma\,(A_m^2 + B_m^2)}.$$

On aurait de même pour la valeur efficace I de i

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\Sigma\,(A'^2_m + B'^2_m)}.$$

Passons maintenant à la détermination de la puissance moyenne; son expression est :

$$W = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} ei\,dx,$$

ou en remplaçant e et i par leurs valeurs

$$W = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \Sigma\,(A_m \sin mx + B_m \cos mx) \times \Sigma\,[A'_m \sin m(x-\beta) + B'_m \cos m(x-\beta)]\,dx.$$

Digitized by Google

Un calcul très simple et analogue à ceux employés pour la détermination de E et de I montre que cette expression se réduit après intégration à

$$W = \frac{1}{2}\left\{\Sigma (A_m A'_m + B_m B'_m) \cos m\beta + \Sigma (A_m B'_m - A'_m B_m) \sin m\beta \right\}. \quad (3)$$

L'expression du facteur de puissance dans le cas général est donc en posant pour simplifier :

$$A_m^2 + B_m^2 = C_m^2$$
$$A'^2_m + B'^2_m = C'^2_m,$$
$$P = \frac{\Sigma (A_m A'_m + B_m B'_m) \cos m\beta + \Sigma (A_m B'_m - A'_m B_m) \sin m\beta}{\sqrt{\Sigma C_m^2}\ \sqrt{\Sigma C'^2_m}}. \quad (4)$$

Quelques cas particuliers sont intéressants à étudier.

Si les courbes de la tension et du courant sont semblables et proportionnelles, on a

$$\frac{A_m}{A'_m} = \frac{B_m}{B'_m} = \frac{C_m}{C'_m} = K. \quad (5)$$

K étant une constante indépendante de m, et l'expression du facteur de puissance se réduit alors à

$$P = \frac{\Sigma C_m^2 \cos m\beta}{\Sigma C_m^2}. \quad (6)$$

expression qui montre que lorsque le décalage des zéros des courbes périodiques est nul le facteur de puissance est égal à l'unité.

Si l'une des courbes est une sinusoïde, le courant par exemple

$$i = A'_1 \sin (x - \beta),$$

le facteur de puissance a pour valeur

$$P = \frac{A_1 \cos \beta - B_1 \sin \beta}{\sqrt{\Sigma C_m^2}}. \quad (7)$$

Ce cas particulier comprend un cas intéressant, celui où la courbe périodique de la fonction non sinusoïdale, la tension dans le cas qui nous occupe, est symétrique par rapport à son ordonnée maxima. Dans cette hypothèse en effet tous les B sont nuls et l'on a :

$$P = \frac{A_1}{\sqrt{\Sigma A_m^2}} \cos \beta. \quad (8)$$

Le facteur de puissance pour un décalage β des zéros des courbes périodiques est alors égal au produit du facteur de puissance correspondant à la coïncidence de phase des courbes périodiques par le cosinus du décalage, c'est le théorème démontré récemment par une autre méthode par M. Russell (1).

Si les deux courbes sont sinusoïdales, on retrouve évidemment l'expression connue de P

$$P = \cos \beta,$$

les B et B′ étant nuls ainsi que les A et A′ sauf A_1 et A'_1. Les développements précédents montrent que le théorème de M. Russell ne peut être généralisé au cas où les deux courbes sont des fonctions harmoniques complexes même en admettant qu'elles soient symétriques par rapport à leur ordonnée maxima. On a en effet si l'on suppose les B et les B′ nuls

$$P = \frac{\Sigma A_m A'_m \cos m\beta}{\sqrt{\Sigma A_m^2}\ \sqrt{\Sigma A'^2_m}}. \quad (9)$$

Examinons plus longuement le cas où les deux courbes sont sinusoïdales, la détermination du facteur de puissance cos β peut se faire avec un wattmètre. Dans le cas d'un courant alternatif simple la question revient à trouver plusieurs tensions sinusoïdales dont les valeurs relatives et les décalages entre elles sont connus.

Pour les courants polyphasés on peut facilement y arriver avec deux tensions différentes dont on connaît le décalage de phase entre elles et par rapport à la différence de potentiel entre un conducteur et le point neutre.

Soit V_1 le premier voltage et I_1 le courant dans le circuit considéré.

Désignons par $V_2 = \alpha V_1$ une différence de potentiel de valeur efficace connue et de décalage γ par rapport à V_1 également connue. Si le courant I_1 retarde de β sur la tension V_1, il retardera sur la tension V_2 d'un angle égal à $\beta - \gamma$ et les deux mesures faites au wattmètre avec V_1 et I_1 et V_2 et I_1 donneront :

$$W_1 = V_1 I_1 \cos \beta$$
$$W_2 = V_2 I_1 \cos (\beta - \gamma) = \alpha V_1 I_1 \cos (\beta - \gamma).$$

Le rapport des mesures étant R on a

$$R = \frac{V_2 I_1 \cos (\beta - \gamma)}{V_1 I_1 \cos \beta} = \frac{\alpha \cos (\beta - \gamma)}{\cos \beta},$$

(1) Voir Russell, *L'Éclairage Électrique*.

Digitized by Google

d'où l'on déduit :

$$\frac{R}{x} = \cos\gamma + \sin\gamma \operatorname{tang}\beta ;$$

et par suite

$$\operatorname{tang}\beta_1 = \frac{R}{x \sin\gamma} - \operatorname{cotg}\gamma. \qquad (10)$$

Dans le cas d'une distribution par courants diphasés on peut prendre V_1 et V_2 égaux et décalés d'un quart de période, on a alors

$$\operatorname{tang}\beta = R.$$

Pour une distribution à courants triphasés on peut prendre les différences de potentiel entre le conducteur considéré et chacun des deux autres ; on a dans ce cas $x = 1$ et $\gamma = 60°$, d'où

$$\operatorname{tang}\beta = \pm\left(\frac{R}{\sin 60} - \operatorname{cotg} 60°\right) = \pm\left(\frac{2R}{\sqrt{3}} - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) \qquad (11)$$

Si la distribution est équilibrée et si l'on veut obtenir le décalage entre la tension simple et le courant dans un conducteur extérieur il faut remarquer que

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\cos(30° - \beta)}{\cos(30° + \beta)},$$

et par suite que

$$\operatorname{tang}\beta = \frac{W_1 - W_2}{W_1 + W_2}\sqrt{3} = \frac{1 - R}{1 + R}\sqrt{3}. \qquad (12)$$

Lorsqu'on applique ces formules au cas général où la tension et le courant ne sont pas sinusoïdaux, les valeurs de β qu'on en déduit diffèrent de la valeur réelle.

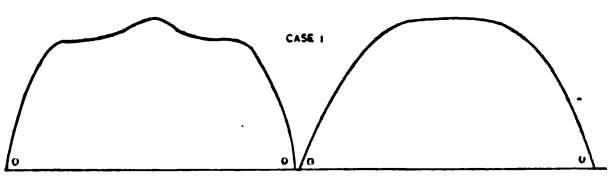


Fig. 1.

Pour montrer l'importance de l'erreur commise l'auteur étudie deux cas particuliers, un correspondant à des courbes de tension et de courant symétriques par rapport à leurs ordonnées maxima (fig. 1)

$$e = 10 \sin x + \sin 3x \qquad (13)$$
$$i = 10 \sin x + 2 \sin 3x + \sin 5x,$$

et l'autre à une courbe de tension symétrique et a une courbe de courant dissymétrique (fig. 2)

$$e = 10 \sin x - \sin 3x + \sin 5x$$
$$i = 10 \sin x - 2 \sin 3x + 3 \sin 5x \qquad (14)$$
$$- 2 \cos x + \cos 3x + \cos 5x$$

Si l'on donne à β différentes valeurs et si l'on

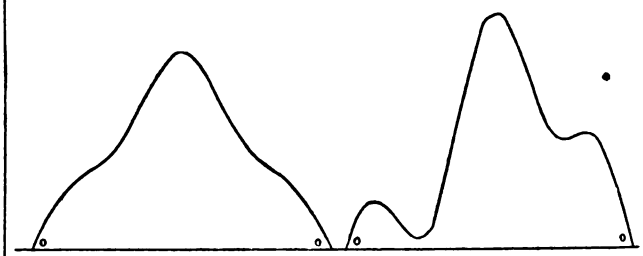


Fig. 2.

calcule les valeurs de W_1, W_2 d'après la formule (3) et enfin les facteurs de puissance P_1, P_2, P_3 par les formules (4), puis (11) et (12), et enfin les valeurs de l'angle δ_1, δ_2, δ_3 apparent de décalage qu'on en déduit, on trouve pour le premier cas :

β	P_1	δ_1	P_2	δ_2	P_3	δ_3
0	0,991	± 8°	1	0	1	0
15	0,952	17°53′	0,97	14°1	0,959	16°33′
30	0,841	32°45′	0,875	29°	0,849	31°57′
45	0,679	47°28′	0,707	45°	0,693	46°7′
60	0,466	62°13′	0,485	61°	0,5	60°
90	0	90°	0	90°	0	90°

et pour le second :

β	P_1	δ_1	P_2	δ_2	P_3	δ_3
−90	0,164	−80°33′	0,169	−80°15′	0,205	− 78°10′
−60	0,617	−51°52′	0,678	−47°21′	0,647	− 49°10′
−30	0,862	−30°27′	0,949	−18°58′	0,937	− 20°31′
0	0,958	+16°42′	0,986	+ 9°45′	0,977	+ 12°13′
+30	0,671	+47°53′	0,736	+42°39′	0,730	+ 43° 4′
+60	0,286	+73°21′	0,315	+71°38′	0,331	+ 70°41′
+90	−0,164	+99°27′	−0,169	+99°45′	−0,205	+101°50′

Il peut arriver évidemment que les courbes périodiques coupent l'axe des temps plus d'une fois par demi-période ; la valeur de β ne serait par suite pas bien définie. Dans ce cas suivant le zéro de la courbe pris pour origine, les

Digitized by Google

valeurs de β des tableaux précédents pourraient différer, mais les valeurs relatives des autres quantités resteraient les mêmes.

Pratiquement les courbes rencontrées sont moins déformées que celles considérées plus haut, aussi les résultats obtenus avec cette méthode du wattmètre seul sont-ils suffisamment approchés et plus exacts que ceux obtenus avec un wattmètre, un voltmètre et un ampèremètre par suite de l'élimination des erreurs dues aux lectures sur ces deux derniers appareils et de l'erreur due à l'étalonnement du wattmètre.

Dans le cas de l'alimentation de lampes à arc, l'exactitude de la méthode est moins grande par suite de la déformation de la courbe du courant.

Un problème intéressant qui est en quelque sorte un complément à l'étude de M. Russell sur le facteur de puissance avec courbes sans décalage mais de forme différente, est de rechercher dans quelles conditions le facteur de puissance est maximum. Il est d'abord évident que si les courbes de tension et de courant sont données, le facteur de puissance ne pourra être augmenté que par l'élimination dans chacune des courbes des harmoniques qui ne se trouvent pas dans l'autre courbe. De plus pour l'amplitude donnée de chaque harmonique, le facteur de puissance sera maximum lorsque les harmoniques de même ordre du courant et de la tension seront en coïncidence de phase.

Dans ce cas les expressions des valeurs efficaces de la tension et du courant, celle de la puissance moyenne seront :

$$\left.\begin{aligned} E=\frac{\sqrt{\Sigma C_m^2}}{2} \qquad I=\frac{\sqrt{\Sigma C'^2_m}}{2} \\ W=\frac{1}{2}\,\Sigma\, C_m C'_m, \end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

car l'on a alors

$$\frac{A_m}{B_m}=\frac{A'_m}{B'_m}=K_m. \qquad (16)$$

La valeur correspondante du facteur de puissance est

$$P=\frac{\Sigma\, C_m C'_m}{\sqrt{(\Sigma C_m^2)(\Sigma C'^2_m)}}.$$

On en déduit

$$P_2=\frac{(\Sigma\, C_m C'_m)^2}{(\Sigma C_m^2)(\Sigma C'^2_m)}=\frac{\Sigma\Sigma\, C_m C'_m C_n C'_n}{\Sigma\Sigma\, C_m^2 C'^2_n}. \qquad (17)$$

m et n prenant toutes les valeurs impaires positives possibles.

Or on a l'identité bien connue :

$$\Sigma\Sigma(C_m C'_n - C_n C'_m)^2=\Sigma\Sigma(C_m^2 C'^2_n + C_n^2 C'^2_m - 2 C_m C' \; C_n C'_n)=2\,\Sigma\Sigma(C_m^2 C'^2_n - C_m C'_m C_n C'_n) \qquad (18)$$

Le premier membre étant toujours positif ou nul on a :

$$\Sigma\Sigma\, C_m^2 C'^2_n \geqslant \Sigma\Sigma\, C_m C'_m C_n C'_n,$$

ce qui montre que P_2 est inférieur ou égal à l'unité.

Le facteur de puissance ne peut devenir égal à l'unité que pour

$$\Sigma\Sigma\,(C_m C'_n - C_n C'_m)^2=0,$$

ou

$$\frac{C_m}{C'_m}=\frac{C_n}{C'_n},$$

quels que soient m et n.

Ces égalités et les égalités (16) montrent que les deux courbes sont en coïncidence de phase et proportionnelles.

Formes des courbes périodiques. — La théorie analytique précédente suggère quelques méthodes plus ou moins précises pour déterminer les harmoniques et par suite la forme de la courbe. Les valeurs des amplitudes maxima peuvent en particulier être déterminées à l'aide d'un appareil convenable.

Reprenons en effet le cas de deux formes périodiques identiques; la lecture au wattmètre a pour valeur

$$W=K.2\,\Sigma C^2_m \cos m\beta$$

K étant le rapport des valeurs efficaces E et I.

Si l'on veut en particulier obtenir la courbe de la tension, la courbe semblable du courant sera fournie en employant une résistance sans induction ; on pourrait encore employer un wattmètre construit avec deux bobines à fil fin. Dans ce cas il faudrait obtenir différents voltages semblables et ayant des décalages réels connus par rapport à celui étudié; l'angle β pourrait alors prendre m valeurs différentes et l'on obtiendrait m équations permettant de calculer les valeurs efficaces $\frac{C_m}{\sqrt{2}}$ des m harmoniques.

Toutefois les équations contenant les carrés des C, les résultats obtenus seraient peu exacts

Digitized by Google

sauf pour les harmoniques très importantes ; cette méthode n'a donc qu'un intérêt purement théorique.

Un second procédé consisterait à ajouter ou à retrancher deux voltages semblables mais décalés d'un angle connu β, des lectures du voltmètre seraient alors suffisantes.

Si une première tension a pour expression

$$e = \Sigma (A_m \sin mx + B_m \cos mx)$$

et une seconde semblable et décalée d'un angle β

$$K_e = K\Sigma (A_m \sin m(x - \beta) + B_m \cos m(x - \beta)),$$

la somme aura pour valeur

$$e_e = e + K_e = \Sigma (S_m \sin mx + T_m \cos mx),$$

en posant :

$$S_m = A_m + KA_m \cos m\beta + KB_m \sin m\beta$$
$$T_m = B_m + KB_m \cos m\beta - KA_m \sin m\beta.$$

La valeur efficace de e_e est :

$$E_e = \frac{\Sigma (S_m^2 + T_m^2)}{2} = \frac{\Sigma C_m^2 (1 + K^2 + 2K \cos m\beta)}{2}$$

En obtenant m équations semblables on pourra calculer les valeurs des C.

Un autre procédé peut être tiré de l'expression de l'équation (7) généralisée. Si en effet on fait une mesure au wattmètre avec la tension dont on étudie la forme et un courant sinusoïdal de période m fois plus courte

$$i = A'_m \sin m(x - \beta),$$

la lecture a pour valeur

$$W = \frac{1}{2} A'_m (A_m \cos m\beta - B_m \sin m\beta),$$

expression dont la valeur maxima est

$$\frac{1}{2} A'_m \sqrt{A_m^2 + B_m^2} \text{ ou } \frac{1}{2} A'_m C_m.$$

Si donc le décalage de l'onde sinusoïdale de même période que l'harmonique cherchée par rapport à celle-ci a varié jusqu'à obtenir une lecture maxima, on pourra obtenir la valeur de l'amplitude maxima de cette harmonique.

Pour obtenir l'onde sinusoïdale de fréquence voulue on pourra conduire la petite génératrice fournissant cette onde, à l'aide d'un moteur synchrone actionné par la machine à étudier ; le déplacement de l'inducteur de cette petite génératrice sur son bâti devra être possible de façon à faire varier le décalage relatif β.

Si l'on dispose d'un bon régulateur de vitesse le moteur synchrone pourra être évité et la petite génératrice amenée à une vitesse voisine de celle correspondant au synchronisme de l'harmonique à calculer ; si le glissement est très faible la lecture au wattmètre sera facilement obtenue.

Finalement si une onde sinusoïdale de fréquence convenable est mise en série avec l'onde périodique quelconque à étudier, la tension résultante variera avec le décalage β entre deux limites V_1 et V_2 lorsque le décalage réel de phase prendra toutes les valeurs possibles.

On aura alors, comme on le voit facilement,

$$V_1^2 = E^2 + E_m^2 + \sqrt{2}\, C_m E_m,$$
$$V_2^2 = E^2 + E_m^2 - \sqrt{2}\, C_m E_m,$$

où E_m est la valeur efficace de l'onde sinusoïdale $\frac{A'm}{\sqrt{2}}$.

On en déduit

$$\frac{C_m}{\sqrt{2}} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{4E_m}.$$

Cette dernière lecture emploie seulement un voltmètre, mais elle est moins précise que la précédente. C. F. G.

Comment les courants des condensateurs et des bobines de réaction varient avec la forme de l'onde de la force électromotrice appliquée à leurs bornes. par **Alexander Russell.** *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, London, t. XXIX, p. 154-169, janvier 1900.

La forme périodique des forces électromotrices appliquées aux bornes de certains appareils à courants alternatifs a, comme on sait, un effet considérable sur leur travail. Les courants produits, les pertes par hystérésis, l'effet sur les isolants, varient dans les plus grandes proportions lorsque la forme de l'onde est modifiée. Aucun essai de transformateurs, de lampes à arc, de moteurs, etc., n'est satisfaisant si on perd de vue ce point.

Les expériences de MM. Beeton, Taylor et Mark Barr ont prouvé en particulier que le courant à vide dans un transformateur est maximum pour une onde sinusoïdale.

Digitized by Google

L'auteur examine par le calcul et pour quelques familles de courbes comment le courant des condensateurs et des bobines de self varie avec la forme de l'onde.

Il a étendu aux courbes ce théorème de géométrie élémentaire bien connu : deux triangles sont égaux quand ils ont même base et même hauteur. Les courbes obtenues en faisant varier n dans les équations suivantes, produisent chacune le même voltage efficace V.

$$\left.\begin{aligned} e &= V\left(\frac{4}{T}\right)^n \sqrt{2n+1}\, t^n \qquad \text{de} \quad t = 0 \text{ à } \frac{T}{4} \\ e &= V\left(\frac{4}{T}\right)^n \sqrt{2n+1}\left(\frac{T}{2} - t\right)^n \text{ de } t = \frac{T}{4} \text{ à } \frac{T}{2} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

e est la force électromotrice instantanée ;
t le temps en secondes, T la période du courant alternatif, et n une variable.

Les équations (1) donnent la moitié positive de la courbe.

Si $n = 0$, on a un rectangle : si n varie entre 0 et 1, on obtient deux courbes en ogive, c'est-à-dire se rencontrant sous un certain angle, et concaves par rapport à l'axe des temps. Quand $n = 1$, on est dans le cas d'un triangle, et quand n est supérieur à 1 on retrouve deux courbes mais convexes par rapport l'axe des temps.

Appelons :
E la force électromotrice maximum ;
V_m la valeur moyenne de la force électromotrice ;
V la hauteur du centre de gravité de la courbe.

$$L = V\sqrt{2n+1}$$
$$V_m = V\frac{\sqrt{2n+1}}{n+1}$$
$$V^2 = 2V_m v. \qquad (2)$$

Le *facteur de forme* est défini par la relation

$$f = \frac{V}{V_m},$$

c'est-à-dire ici, par

$$f = \frac{2v}{V}.$$

Le *facteur de forme* est donc inversement proportionnel à l'aire de la courbe de force électromotrice et à la fréquence. Comme l'induction maxima produite dans le noyau d'une bobine de self est proportionnelle à l'aire de la courbe de force électromotrice appliquée, il s'ensuit que cette induction maxima est proportionnelle au *facteur de forme*. Avec deux courbes produisant la même force électromotrice efficace et ayant même *facteur de forme*, les pertes par hystérésis en particulier seront les mêmes. Cependant la connaissance du *facteur de forme* ne nous apprend rien sur la forme de la courbe.

Pour calculer les effets électriques produits par une force électromotrice efficace donnée il faut connaître :
1° l'aire de la courbe ;
2° si elle a plus d'une pointe ;
3° la hauteur maxima ;
4° si la courbe est symétrique ;
5° si la courbe n'est pas symétrique, dans quel quart de période elle atteint son maximum.

Supposons que l'onde représentée par l'équation (1) soit appliquée à un condensateur de C farads. Le courant est

$$i = VC\left(\frac{4}{T}\right)^n \sqrt{2n+1}\, nt^{n-1}, \text{ de } 0 \text{ à } \frac{T}{4}.$$

La valeur efficace du courant $\left(n > \frac{1}{2}\right)$,

$$A = 4n\sqrt{\frac{2n+1}{2n-1}}\,\frac{VC}{T} ; \frac{1}{T}, \text{ fréquence.}$$

La valeur maxima du courant sera, dans ce cas, $6,661\frac{\sqrt{C}}{T}$ tandis que une onde sinusoïdale ne droduit que $6,283\frac{VC}{T}$ ampères.

Si l'onde (1) est appliquée à une bobine de réaction de coefficient de self L, le courant efficace est

$$A = \left[\frac{2(2n+1)}{(n+2)(2n+3)}\right]^{\frac{1}{2}}\frac{VT}{4L}.$$

La valeur maxima de A est $0,1589\frac{VT}{L}$, celle de E, 1,565 V. Pour une courbe sinusoïdale, ces valeurs seraient respectivement :

$$A = 0,1591\frac{VT}{L} \text{ et } E = 1,414\ V.$$

Famille des courbes hyperboliques. — Les équations sont :

$$\left.\begin{aligned} e &= B \sin. h. n\frac{t}{T} \qquad \text{de} \quad t = 0 \text{ à } \frac{T}{4} \\ e &= B \sin. h. n\left(\frac{1}{2} - \frac{t}{T}\right) \text{de } t = \frac{T}{4} \text{ à } \frac{T}{2} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

.....

Digitized by Google

ou

$$B = V\sqrt{\frac{n}{\text{sin. } h.\ \frac{n}{2} - \frac{n}{2}}}$$

On en tire

$$E = V\sqrt{\frac{n\cos.\ h.\ \frac{n}{2} - n}{2\ \text{sin. } h.\ \frac{n}{2} - n}}$$

$$V_m = \frac{iB}{n}\left[\cos.\ h.\ \frac{n}{i} - 1\right]$$

Pour un condensateur :

$$A = \frac{nVe}{T}\left[\frac{\text{sin. } h.\ \frac{n}{2} + \frac{n}{2}}{\text{sin. } h.\ \frac{n}{2} - \frac{n}{2}}\right]^{\frac{1}{2}}$$

Pour une bobine de réaction :

$$A = \frac{VT}{L}\left[\frac{2n - 6\ \text{sin. } h.\ \frac{n}{2} - n\cos h\ \frac{n}{2}}{n^2(2\ \text{sin } h\ \frac{n}{2} - n)}\right]^{\frac{1}{2}}$$

Famille de courbes comprenant un rectangle une ellipse et une parabole. — Son équation est :

$$e = B\left[t\left(\frac{T}{2} - t\right)\right]^n \quad \text{de } t = 0 \text{ à } \frac{T}{2}$$

où

$$B = \left(\frac{2}{T}\right)^{2n} V\ \frac{\sqrt{\Gamma(in+2)}}{\Gamma(2n+1)}$$

On voit que (1) :

$$E = \frac{V}{L^n}\ \frac{\sqrt{\Gamma(in+2)}}{\Gamma(2n+1)}$$

Pour un condensateur :

$$A = 2\sqrt{\frac{2n(in+1)}{2n-1}}\ \frac{VC}{T}$$

A est minimum pour $n = 1{,}112$ et alors,

$$A = 6{,}293\ \frac{VC}{T}$$

$$E = 1{,}397\ V$$

Pour une courbe sinusoïdale :

$$A = 6{,}283\ \frac{VC}{T}$$

$$E = 1{,}414\ V$$

(1) Les tables de log $\Gamma(n)$ sont données dans le *Integral calculus*, de Williamson. (Note de l'auteur)

Famille de courbes sinusoïdales. — L'équation de la force électromotrice est :

$$e = E\ \text{sin}^n\ \frac{2\pi t}{T}$$

où

$$E = \sqrt{\frac{\pi^{\frac{1}{2}}\ \Gamma(n+1)}{\Gamma\left(\frac{2n+1}{2}\right)}}\ .\ V$$

Pour un condensateur, si n est $> \frac{1}{2}$

$$A = \frac{2\pi n}{\sqrt{2n-1}}\ .\ \frac{CV}{T}$$

Courbes asymétriques.

Théorème. — Si $e = f(t)$ est l'équation d'une courbe symétrique de force électromotrice, c'est-à-dire d'une courbe dans laquelle :

$$f(t) = f\left(\frac{T}{2} - t\right)$$

alors les équations :

$$\left.\begin{aligned} e &= f\left(\frac{T}{4}\ .\ \frac{t}{\tau}\right) && \text{de } t = 0 \text{ à } \tau \\ e &= f\left(\frac{T}{4}\ \frac{\frac{T}{2} - t}{\frac{T}{2} - \tau}\right) && \text{de } t = \tau \text{ à } \frac{T}{2} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

représentent une courbe tordue de force électromotrice ayant même hauteur maxima, même largeur et même surface que l'onde origine.

L'auteur établit que :

1° De toutes les ondes de force électromotrice de même hauteur, appliquées à un condensateur, l'onde symétrique est celle qui produit le plus petit courant efficace.

2° De toutes les ondes de force électromotrice de même hauteur, appliquées à une bobine de réaction, l'onde symétrique est celle qui produit le plus grand courant efficace,

et conclut ainsi :

1. La connaissance des courants efficaces produits dans un condensateur et une bobine de réaction par une force électromotrice alternative donnée ne nous renseigne pratiquement que peu sur la forme de l'onde.

2. Le mot de *facteur de forme* n'est pas une désignation convenable pour rapport $\frac{V}{V_m}$. Il faudrait plutôt le nommer *facteur de surface* ou

Digitized by Google

facteur d'hystérésis, si on croit toutefois vraiment utile de lui donner un nom.

3. L'onde sinusoïdale appliquée à un condensateur produit un courant efficace plus petit qu'aucune des courbes qui ont été considérées. Si ce courant n'est pas le plus petit produit par une onde donnée, il doit être bien voisin pourtant du minimum absolu.

4. L'onde sinusoïdale appliquée à une bobine de réaction produit un courant magnétisant plus important qu'aucune des ondes considérées.

5. Dans une famille d'ondes de même hauteur l'onde symétrique produit le courant maximum dans une bobine de self, le courant minimum dans un condensateur. J. G.

TÉLÉGRAPHIE-TÉLÉPHONIE

Le poste de télégraphie sans fil de Wimereux, par **G. Ferrié**. *Revue du Génie militaire*, t. XVIII, p. 230 et 437, 1899.

On sait que l'an dernier, sur la demande de la Wireless Telegraph and Signal C°, propriétaire des brevets Marconi, le Gouvernement français

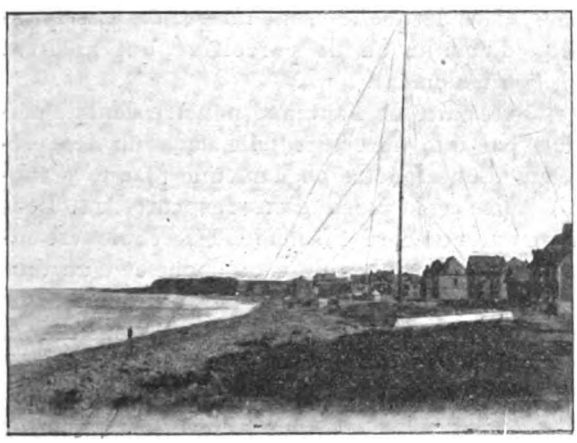


Fig. 1. — Station de Wiremeux.

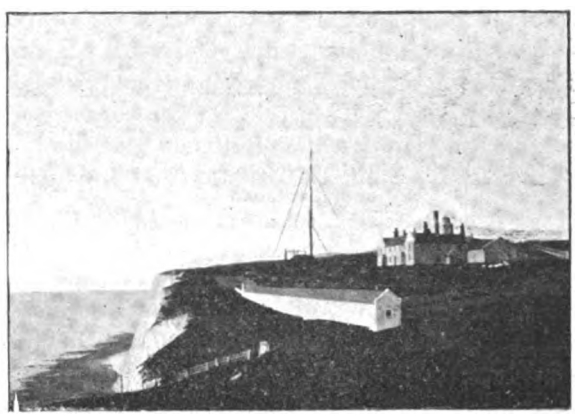


Fig. 2. — Station de South-Foreland.

autorisa l'installation d'un poste de télégraphie sans fil dans les environs de Boulogne, à Wimereux (fig. 1) en vue d'expériences à travers la Manche, un autre poste ayant été érigé sur la côte anglaise, à 6 km au nord de Douvres, dans le bâtiment de l'usine électrique des phares de South-Foreland, près Saint-Margaret (fig. 2). Des commissions furent nommées par l'Administration des Postes et Télégraphes et les Ministères de la Marine et de la Guerre pour suivre ces expériences. M. Ferrié, capitaine du génie, faisait partie de la commission du Ministère de la Guerre; il s'est donc trouvé dans les meilleures conditions pour pouvoir se rendre compte du fonctionnement du système Marconi. C'est la raison qui nous engage à donner, d'après le travail (1) qu'il a publié, la description des divers organes du système employé dans les essais de l'an dernier, bien que des perfectionnements aient été, dit-on, apportés depuis à ce système.

I. Description des organes d'une station. — *Antenne*. L'antenne est constituée par un câble formé de sept brins de cuivre de 9/10 de mm de diamètre, recouvert d'une couche de caoutchouc et de rubans isolants.

Il y a avantage, dans le cas où la distance est un peu forte pour la hauteur d'antenne, à employer une antenne de large capacité, capacité obtenue, par exemple au moyen de filets métalliques F, disposés de part et d'autre du conducteur comme l'indique la figure 3.

(1) Ce travail paru tout d'abord dans la *Revue du Génie militaire*, a été rassemblé avec un article de M. Boulanger, chef de bataillon du Génie, en une brochure de 94 pages publiée par la librairie Berger-Levrault et C°, 5, rue des Beaux-Arts. L'article de M. Boulanger contient une étude des propriétés générales des courants alternatifs, une exquisse de la théorie de Maxwell et une description des expériences de Hertz et autres expérimentateurs sur les ondes hertziennes. L'ensemble des deux articles renferme donc tout ce qui est indispensable à la compréhension de la télégraphie sans fil.

Digitized by Google

L'antenne doit être éloignée, autant que possible, des objets conducteurs ou semi-conducteurs, surtout pour la transmission.

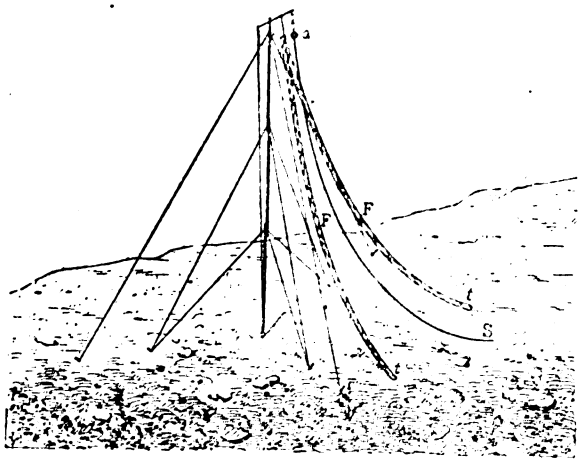


Fig. 3. — Filets métalliques disposés de part et d'autre de l'antenne.
F, F, filets; *a*, antenne; *s*, station.

La partie supérieure de l'antenne est enroulée en cinq ou six spires de 40 à 50 cm de diamètre, reliées électriquement entre elles par l'extrémité dénudée du câble, que l'on a enroulée successivement sur chacune des spires en des points

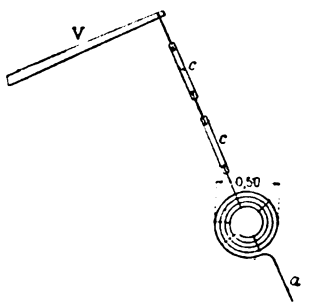


Fig. 4. — Mode d'attache de l'antenne.
a, antenne; *c*, *c*, cylindre d'ébonite; V, vergue.

également dénudés (fig. 4). Ces spires sont quelquefois remplacées par un cylindre en treillis métallique de 0,50 m de longueur environ, auquel le câble est relié électriquement (1).

Les spires, ou le cylindre, sont attachées au moyen de cordelette parafinée à une série de deux cylindres d'ébonite de 0,50 m de longueur et de 0,04 m de diamètre, l'extrémité libre du dernier étant fixée à l'extrémité d'une vergue placée à la partie supérieure d'un mât analogue à un mât de navire. Ce mât, formé de plusieurs parties que l'on met successivement en place, est solidement amarré au sol par des haubans (fig. 3).

Pour éviter que les effets de traction causés par le vent n'agissent sur les appareils auxquels est reliée l'antenne, celle-ci est fixée au sol ou aux bâtiments, 1 m ou 2 m avant son entrée dans la station, au moyen de cordelettes parafinées, dans lesquelles sont intercallés des cylindres d'ébonite ou de porcelaine, qui assurent un bon isolement.

L'extrémité de l'antenne pénètre dans la station par une ouverture faite dans un des carreaux d'une fenêtre ou dans une plaque d'ébonite mise à la place d'un des carreaux. Pour augmenter encore l'isolement, le câble est entouré de deux tubes de caoutchouc et d'un tube d'ébonite fixé au carreau par un tampon de gutta; les extrémités du tube d'ébonite sont également bouchées au moyen de gutta.

Le mât peut être remplacé par tout autre support, arbre élevé, bâtiment élevé, escarpement naturel, ballons captifs, etc. Si l'on utilise des bâtiments ou des escarpements naturels, il est nécessaire de maintenir l'antenne à une distance de 6 à 10 m de son support.

L'inclinaison de l'antenne n'a aucun inconvénient, pourvu que la distance verticale entre ses extrémités soit assez grande pour la distance à franchir.

Il résulterait de nombreuses expériences faites par M. Marconi que, jusqu'à 40 km, avec les moyens qu'il employait, la loi qui lie la hauteur d'antenne et la distance possible de communication, en espace découvert, serait la suivante :

$$H = 0{,}15\sqrt{D},$$

H et D étant exprimés en mètres.

A partir de 40 km, la hauteur donnée par cette formule serait trop faible.

L'interposition d'obstacles de hauteur moyenne réduirait d'environ un tiers la distance possible de communication déduite de la formule ci-dessus.

Terre. — La prise de terre doit être à grande surface, les conduites d'eau et de gaz convien-

(1) La présence de cette capacité, ou plaque de ciel, à l'extrémité de l'antenne n'est pas indispensable; son rôle est d'ailleurs mal connu.

Digitized by Google

nent très bien. Lorsqu'on emploie, pour constituer l'antenne, des filets métalliques ou des conducteurs à grande capacité, la réception est souvent troublée par des signaux parasites que M. Marconi croit être d'origine tellurique. Il y a avantage, dans ce cas, à remplacer la prise de terre par une large capacité.

Bobine d'induction et oscillateur. — La bobine employée est du type App (Newton constructeur); elle est munie d'un simple interrupteur

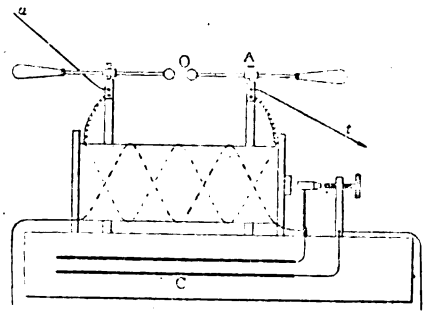


Fig. 5. — Bobine d'induction et oscillateur.

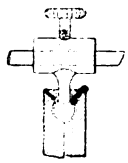


Fig. 6. — Détail du genou A.

C, condensateur de la bobine; O, oscillateur.

à marteau très robuste et de large contact (fig. 5 et 6). Le modèle normalement employé peut donner 25 cm d'étincelles.

Le condensateur destiné à absorber l'étincelle de rupture du primaire est logé dans le socle de la bobine.

L'oscillateur, monté sur le même socle que la bobine se compose de deux petites sphères de cuivre de 3 cm de diamètre environ, placées aux extrémités de deux tiges également en cuivre et terminées par des poignées isolantes. Ces tiges peuvent glisser dans des manchons munis de rotules, dont le logement est pratiqué dans des bornes situées à l'extrémité de colonnes isolantes, et reliées au secondaire de la bobine. Les tiges peuvent être immobilisées dans une position quelconque au moyen de vis de serrage. Pour la transmission, les sphères de l'oscillateur sont maintenues à une distance de 2 à 3 cm l'une de l'autre.

Il est intéressant de remarquer que M. Marconi a beaucoup simplifié ses dispositions primitives : il a notamment abandonné l'oscillateur de Righi pour revenir à l'oscillateur de Hertz. Dans l'oscillateur de Righi, afin d'éviter l'oxydation des boules, les étincelles étaient produites au sein d'un liquide isolant, ordinairement l'huile de vaseline. Mais celle-ci se décomposait partiellement sous l'influence des étincelles, et la présence de parcelles de charbon provenant de cette décomposition diminuait la résistance et le pouvoir inducteur spécifique du diélectrique et, par suite, l'énergie mise en jeu. L'emploi de l'air comme diélectrique est donc préférable.

Des essais ont été faits avec l'interrupteur électrolytique de Wehnelt ; mais les résultats, très encourageants à petite distance, ont été mauvais pour de longues portées.

Source d'énergie électrique. — L'énergie électrique est fournie dans le primaire de la bobine par une batterie de piles, aux bornes de laquelle des accumulateurs sont quelquefois placés en dérivation.

Pour une installation provisoire, on emploie cinquante éléments montés comme il est indiqué par la figure 7.

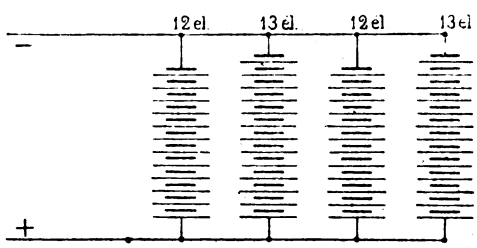


Fig. 7. — Batterie de 50 éléments.

Si l'installation doit être permanente, il est préférable d'employer cent éléments pour éviter une usure rapide (fig. 8) et de placer huit accumulateurs légers en dérivation.

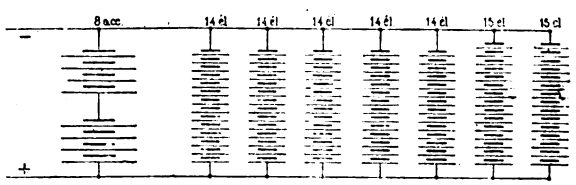


Fig. 8. — Batterie de 100 éléments et de 8 accumulateurs légers.

Les éléments employés sont du type sec Obach, grand modèle (force électromotrice 1,5 volt environ, résistance intérieure 0,15 ohm) à réaction Leclanché, avec emploi de plâtre humide.

Les accumulateurs sont de modèle quelconque.

Digitized by Google

La figure 8 représente le montage du poste de Wimereux. La différence de potentiel aux bornes du primaire est de 16 à 17 volts, et l'intensité dans ce circuit, de 6 à 9 ampères.

On peut également employer une machine génératrice quelconque, à courants continus ou à courants alternatifs. Dans ce dernier cas, l'interrupteur de la bobine est supprimé.

Clef Morse.— La clef Morse (fig. 9) est d'un

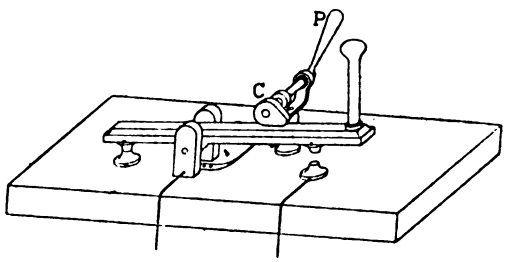


Fig. 9. — Clef Morse.

type analogue à celui que l'on emploie dans les installations ordinaires, mais de formes plus robustes et de contact plus large. La poignée est formée d'une tige d'ébonite de 10 cm environ de hauteur, pour éviter tout contact accidentel de la main avec le circuit. Le jeu du manipulateur est réglé par une came C mobile autour d'un axe par le moyen d'une poignée isolée P.

Clef-commutateur. — Pour éviter de rattacher successivement l'antenne au transmetteur et au récepteur, M. Marconi emploie quelquefois le dispositif suivant:

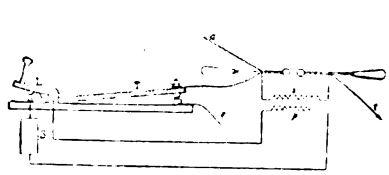


Fig. 10. — Clef-commutateur.

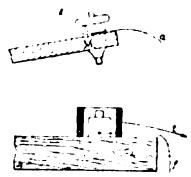


Fig. 11. — Détail de l'extrémité de la tige.

L, levier; T, tige soudée en ébonite; S, source d'énergie; *p*, bobine primaire; *s*, bobine secondaire; *f*, récepteur; M, tige métallique.

Le levier L de la clef Morse (fig. 10 et 11) est prolongé par une tige coudée en ébonite T, dont l'extrémité postérieure est traversée par une tige métallique M, munie d'une vis de serrage et d'un marteau. Au repos, celui-ci prend appui sur une enclume reliée à la bonne ligne du récepteur. La vis de serrage est en communication avec l'antenne.

Pour éviter que des étincelles ne puissent jaillir accidentellement, pendant la transmission, entre le marteau et l'enclume dont il est question ci-dessus et, par suite, mettre le récepteur hors de service, cette enclume est entourée d'une gaine métallique plus élevée qu'elle et reliée à la terre. De plus, pour empêcher des oscillations de s'établir, pendant la transmission, dans le fil de connexion *f* de l'enclume au récepteur, ce fil est anti-inducté, c'est-à-dire recouvert, par-dessus la couche de gutta, d'une couche d'étain reliée à la terre.

Pendant la manipulation, la partie postérieure du levier est maintenue relevée, de manière qu'il y ait toujours un intervalle de 6 à 8 cm entre cette extrémité et l'enclume reliée au récepteur. La manipulation est un peu moins commode, mais il est facile de s'y habituer. Néanmoins, ce dispositif n'est pas à l'abri de toute critique.

Montage du poste transmetteur. — Tous les appareils composant le poste transmetteur sont groupés sur une même table (avec les appareils du poste récepteur), à l'exception des piles et des accumulateurs placés sur le sol ou sur des étagères.

L'extrémité de l'antenne est soutenue au-dessus de la table par une cordelette isolée du bâtiment au moyen de cylindres d'ébonite.

Cohéreur. — Le cohéreur (fig. 12) est consti-

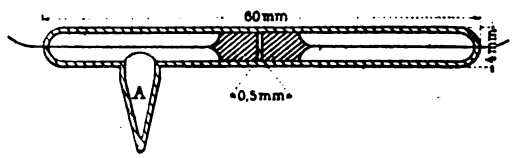


Fig. 12. — Cohéreur.

tué par un tube de 6 cm environ de longueur et de 4 mm de diamètre intérieur, dans lequel on a fait le vide à 1 mm de pression par l'intermédiaire d'un appendice A. Dans ce tube, exactement calibré, s'adaptent deux électrodes d'argent prolongées par des fils de platine soudés dans les parois du verre. Ces électrodes sont distantes de 1/2 mm environ, et maintiennent entre elles une petite quantité de limaille très fine. Certains cohéreurs de M. Marconi ont des électrodes dont la surface plane est légèrement taillée en biseau (fig. 13).

La composition de la limaille serait la sui-

Digitized by Google

vante : 96 parties de nickel, 4 d'argent et des traces de mercure. La limaille et les électrodes

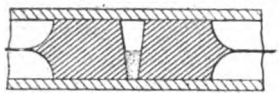


Fig. 13. — Électrodes de cohéreur taillées en biseau.

doivent être d'une propreté absolue, sans trace d'oxydation ni de poussière.

Les cohéreurs de Marconi sont d'une sensibilité remarquable ; il les considère comme des appareils très sûrs. Certains sont en service depuis dix-huit mois. Tous sont essayés, préalablement à leur emploi, sur une communication de 22 km environ. Leur sensibilité est éprouvée sur place en les soumettant à l'action des ondes produites par l'étincelle d'une petite sonnerie d'appartement placée à une distance variable.

Le mode de décohésion employé est le choc du marteau d'un trembleur, dont le réglage doit être très minutieux. Pour amortir ce choc, le cohéreur est fixé sur une mince baguette de verre dont une seule extrémité est pincée dans une mâchoire d'ébonite.

Jigger. — Le dispositif de syntonisation, designé par M. Marconi sous le nom fantaisiste de « jigger », est contenu dans une petite boîte en bois munie de 5 bornes (1).

(1) C'est tout ce qu'on peut voir de ce dispositif et des scellés placés sur la boîte indiquent suffisamment que M. Marconi ne tient pas à le faire connaître.

M. Ferrié fait dans une autre partie de son article les remarques suivantes au sujet de la syntonisation :

M. Marconi a fait breveter, en mars 1899, le dispositif décrit ci-après :

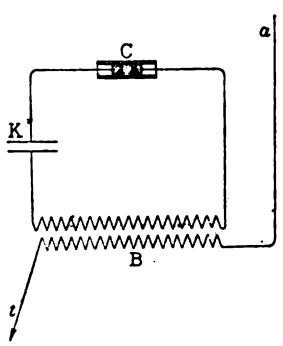


Fig. *a*. — Dispositif de syntonisation de M. Marconi. B, bobine d'induction ; C, cohéreur ; K, condensateur ; *a*, antenne ; *t*, terre.

Pour la réception, l'antenne est reliée, non plus directement au cohéreur, mais à l'une des extrémités du primaire d'une bobine d'induction, l'autre extrémité étant à la terre. Le cohéreur est intercalé dans le secondaire de la bobine en même temps qu'un condensateur (fig. *a*).

L'inventeur ne donne aucune théorie de ce dispositif. Le rôle de la bobine d'induction paraît assez obscur, car il est difficile d'admettre que les oscillations directes ou induites, s'il y en a, suivent les circuits de la bobine, étant donnés leurs grandes impédances et le peu d'isolement des fils.

Quoi qu'il en soit, M. Marconi dit dans son brevet « qu'il est désirable que la bobine d'induction soit en syntonie, avec l'oscillation électrique transmise, le nombre de tours et l'épaisseur du fil la plus appropriée variant avec la longueur d'onde transmise ».

La liaison directe de l'antenne à la terre a, en outre, pour effet « de réduire dans une certaine mesure les effets fâcheux dus aux influences atmosphériques ».

L'inventeur a voulu dire par là que cette liaison permet l'écoulement continu à la terre de la charge que peut prendre l'antenne sous l'influence de l'électricité atmosphérique.

Le fait a été contrôlé à Wimereux, un jour d'orage : il était possible de tirer de l'antenne de fortes étincelles, alors que son extrémité était isolée des appareils ; mais, aussitôt que cette extrémité était reliée aux appareils, la réception ne présentait aucun trouble et était aussi nette qu'en temps ordinaire. Il y a lieu de remarquer, cependant, qu'aucun coup de foudre n'a été observé dans le voisinage du poste.

Le condensateur K joue un double rôle : il intervient par sa capacité dans les éléments électriques du circuit et empêche, en outre, la pile du relais d'être en circuit fermé d'une manière permanente.

Ce dispositif permet de rendre un récepteur syntone du transmetteur correspondant.

Si les transmetteurs de deux stations ne produisent pas des oscillations de même période, les communications se feront dans deux tons différents, puisque chaque récepteur doit être réglé sur le transmetteur correspondant. Dans une même station, le transmetteur et le récepteur seront donc dans des tons différents. Cette situation n'a aucun inconvénient, si les deux stations n'ont à communiquer qu'entre elles ; mais si l'une d'elles doit pouvoir communiquer avec une troisième, sans que les signaux échangés soient reçus par l'autre, le réglage devient très complexe, car il faut agir sur le transmetteur et le récepteur pour les accorder sur l'un ou l'autre des circuits correspondants des deux autres stations.

Si, au contraire, le transmetteur et le récepteur d'une station sont dans le même ton, il suffit d'agir sur l'antenne, partie commune aux deux circuits, pour modifier le ton de la station et l'accorder sur une autre qui serait dans les mêmes conditions.

Dans les deux cas, il est nécessaire, pour effectuer le réglage, de pouvoir modifier les éléments électriques de l'antenne. C'est dans ce but que M. Marconi dispose de part et d'autre de l'antenne, un filet métallique, de 40 cm

Relais. — Le relais employé est du type « relais polarisé de Siemens » R = 1000 ohms.

Digitized by Google

Cependant, il est probable que tout autre type doué d'une grande sensibilité conviendrait aussi bien.

Pour régler la sensibilité du relais, M. Marconi réunit dans un poste récepteur les électrodes du cohéreur par des bobines de résistance de 2 000, 4 000 et 5 000 ohms : le relais doit fonctionner pour 2 000 et 4 000, mais non pour 6 000.

Éléments de pile. — Même type que pour le transmetteur, mais de modèle plus petit.

Bobines de self-induction. — Ces bobines sont constituées par un fil de fer très fin d'une douzaine de mètres de longueur, enroulé en spires étroites et noyées dans la paraffine. La résistance ohmique d'une bobine est de 30 à 40 unités, mais sa self-induction en henrys n'est pas connue.

La présence de ces bobines, qui s'opposent par leur impédance au passage des oscillations dans le circuit du relais, est très importante. Les distances possibles de communication seraient

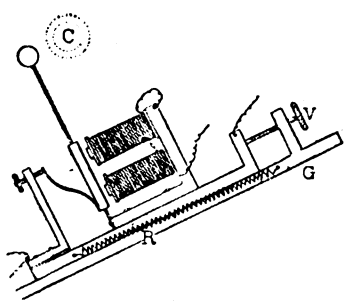


Fig. 14. — Trembleur.
V, vis; R, ressort antagoniste; C, cohéreur.

réduites dans une très forte proportion, si elles n'étaient placées dans ce circuit.

Trembleur. — Le trembleur (fig. 14) destiné à décohérer le tube, est de modèle ordinaire (R = 1 000 ohms), mais tout l'appareil est mobile sur une glissière G au moyen d'une vis V et d'un ressort antagoniste R. Ce mouvement longitudinal permet de régler les contacts du marteau avec le tube. Ces contacts doivent être très doux.

Morse. — Le Morse est du type Siemens à palette lourde (R = 500 ohms). La vitesse de déroulement est réglée à 0,60 m environ à la minute.

Shunts. — Des shunts placés en dérivation sur les divers circuits, ont pour but d'absorber les extra-courants et d'empêcher la formation, par ces courants d'étincelles pouvant agir sur le cohéreur. Ils sont constitués par des bobines de résistance à enroulement double et à large noyau, pour éviter la self-induction. Leur valeur en ohms, fonction de la résistance du trembleur, relais, etc., est indiquée sur la figure 15.

Montage du poste récepteur. — Tous les appareils composant le poste récepteur, à l'exception du Morse, sont réunis sur une même planchette (fig. 15) et placés dans une boîte en fer reliée à la terre. Cette disposition a pour but d'empêcher les oscillations produites pendant la transmission opérée par la station elle-même, d'agir sur le poste récepteur.

Une paroi de la boîte en fer est mobile et permet, le cas échéant, de retirer la planchette pour régler les appareils.

L'un des fils de connexion du Morse avec le circuit du contact du relais est relié à la terre par l'intermédiaire de la boîte en fer. Dans l'autre fil de connexion du Morse, est intercalée une bobine de self-induction, placée dans une petite boîte en fer pleine de feuilles d'étain froissées, et fixée contre la grande boîte.

Dans le cas où l'on emploie la clef-commutateur, le fil de connexion de l'enclume au récepteur est anti-inducté, comme on l'a vu plus haut.

Il ne peut donc s'établir, dans ces différents fils de connexion, des oscillations pouvant agir sur le cohéreur, pendant la transmission.

La boîte en fer, qui contient le poste récepteur, est portée par un socle en bois, muni de vis calantes, qui permettent de placer la palette du relais dans la meilleure position de sensibilité.

---

environ de largeur, dont les extrémités sont reliées à la terre; ce filet a évidemment pour effet de modifier la capacité de l'antenne. Le réglage est obtenu en approchant plus ou moins le filet de l'antenne et en faisant varier sa hauteur.

Pour agir sur la self-induction l'inventeur ajoute à la partie inférieure de l'antenne des bobines de self-induction de valeur variable, formées par l'enroulement du câble de l'antenne sur des cylindres d'ébonite de 4 mm de diamètre.

Les expériences faites sur l'efficacité de la syntonisation obtenue par ces procédés ne sont pas absolument concluantes.

M. Marconi n'a jamais pu communiquer à plus de 25 kilomètres sans employer le dispositif décrit dans son brevet de mars 1899.

Digitized by Google

II. — Expériences faites a travers la Manche. — Dans ces expériences, on utilisa outre les stations de Wimereux et de South Foreland, distantes de 46 km, le poste installé depuis plusieurs mois déjà à bord du bateau-feu, le E. S *Goowind* pour relier d'une façon régulière ce bateau à la côte par la station de South-Foreland, située à 19 km.

Les deux stations de Wimereux et South-Foreland, étaient munies, au début des expériences, d'antennes de 45 m. Cette hauteur fut ensuite réduite à 37 m, mais elle paraissait être à la limite inférieure pour un bon fonctionnement. L'antenne avait d'ailleurs été doublée par un deuxième conducteur assemblé au premier en quantité.

La hauteur d'antenne du *Goodwind* était d'environ 24 m ; le navire, les mâts et les haubans étaient entièrement en fer.

Ces trois stations étaient normalement réglées dans le même ton, de manière à pouvoir toujours assurer la communication du *Goodwind*

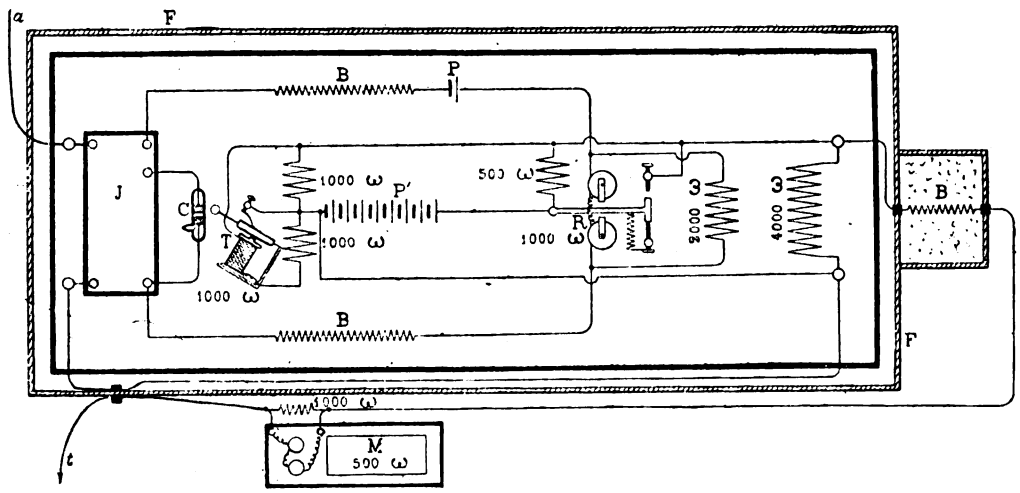


Fig. 15. — Schéma du montage du poste récepteur.

B, bobines de self-induction; O, cohéreur; F, boite en fer; J, jigger; M, morse; P, P, piles; R, relais; T, trembleur; *a*, antenne, *t*, terre.

avec la côte. Cette dernière station ne pouvait communiquer avec Wimereux, étant données la distance (49 km), l'interposition du cap Griz-Nez et la faible hauteur de l'antenne du *Goodwind* (24 m).

Des installations provisoires furent faites, en outre, à bord de l'aviso l'*Ibis* et du transport *la Vienne*. Ces deux bâtiments étaient munis d'antennes ayant respectivement 22 m et 31 m.

Les expériences faites peuvent se diviser en trois catégories :

Expériences de communication simple en espace découvert ;

Expériences de communication simple avec interposition d'obstacles ;

Expériences de syntonisation.

Pendant toutes ces expériences, la vitesse de transmission était d'environ 40 lettres à la minute.

Expériences de communication simple en espace découvert. — Les communications de South-Foreland avec Wimereux et Goodwind, et inversement, ont toujours été très satisfaisantes par tous les temps (brouillard, vent, pluie, tempête).

Les communications entre les stations mobiles (l'*Ibis* et *la Vienne*) et les trois stations indiquées ci-dessus ont été également très bonnes, les navires étant en marche ou au repos. Les distances maximum atteintes ont été les suivantes :

L'*Ibis* (22 m), *Goodwind* (24 m), à 20 km ;

L'*Ibis* (22 m), South-Foreland (45 m), à 25 et 30 km ;

La *Vienne* (31 m), South-Foreland (37 m), à 48 km.

Cette dernière communication a même pu être établie dans un sens (réception à bord de la

Digitized by Google

Vienne) jusqu'à 52 km. La réception à South-Foreland avait cessé à partir de 48 km. M. Marconi donnait de ce fait l'explication suivante : la sensibilité mécanique du récepteur de South-Foreland avait été réglée par lui pour la communication avec Wimereux à 46 km, mais elle était insuffisante pour une distance notablement supérieure ; tandis qu'à bord de la *Vienne*, il avait réglé cette sensibilité à son maximum.

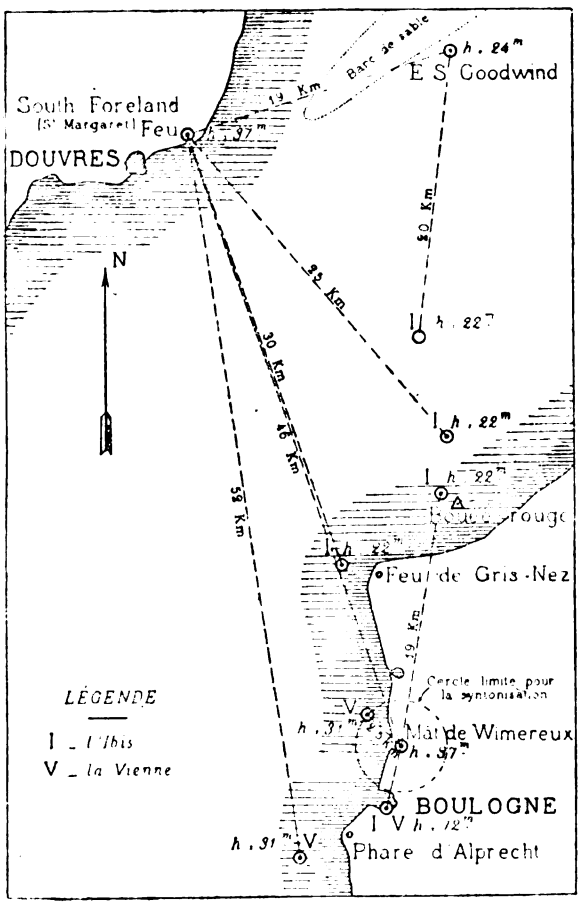


Fig. 16. — Stations pour les expériences faites à travers la Manche en mars, avril, juin 1899 (1/500).

Expériences de communication simple avec interposition d'obstacles. — L'*Ibis* (22 m) étant placé près de la bouée rouge n° 2 à l'est du cap Gris-Nez, à 19 km de Wimereux (45 m), il fut possible d'échanger des télégrammes entre les deux stations, malgré l'interposition du massif du cap Gris-Nez, d'une hauteur maximum de 100 m environ.

La *Vienne* étant à quai dans le port de Boulogne, on put établir une communication entre elle et Wimereux (5 km) avec une hauteur d'antenne de 12 m à bord de la *Vienne* et de 37 m à Wimereux, malgré l'interposition du massif de la Crèche, d'une hauteur de 75 m environ, et de toutes les canalisations électriques des quais de Boulogne.

Expériences de syntonisation. — Un programme complet d'expériences avait été préparé dans le but de vérifier les faits suivants :

1° Etant données trois stations A, B, C, placées dans la zone d'action les unes des autres, A et B étant réglées dans le même ton et C dans un ton différent, C ne peut pas recevoir les télégrammes échangés entre A et B lorsqu'il est à une distance de A ou de B supérieure à une certaine limite à déterminer ; A et B ne peuvent non plus recevoir les télégrammes transmis par C, et la réception des télégrammes qu'ils échangent entre eux n'est pas troublée par la transmission de C ;

2° Les trois stations étant dans les tonalités définies ci-dessus, il est possible de modifier une des stations A ou B, A par exemple, de manière à la mettre dans le même ton que C sans toucher à B ni à C ; B jouissant vis-à-vis de A et de C des mêmes propriétés dont C jouissait précédemment vis-à-vis de A et B.

Une journée fut laissée à M. Marconi pour préparer ces expériences à bord de la *Vienne*, les journées suivantes devant être consacrées à leur exécution, avec contrôle dans les diverses stations : la *Vienne*, Wimereux, South-Foreland.

Malheureusement le jeune inventeur fut victime d'un accident après la journée d'essais, et les expériences définitives ne purent être faites.

Toutefois, bien qu'il n'y eût pas de contrôle dans les stations de Wimereux et de South-Foreland, la commission a pu constater, pendant la journée d'essais, la probabilité des faits énoncés ci-dessus.

Les stations la *Vienne* (31 m) et *Wimereux* (37 m) ayant été réglées dans des tons différents, n'ont pu communiquer entre elles tant que leur distance demeura supérieure à 2 500 m. Mais à partir de cette limite, la communication fut aussi correcte qu'entre deux stations syntonisées.

Conclusions. — Voici les conclusions du capitaine Ferrié.

Pour que la télégraphie sans fil puisse rendre

Digitized by Google

les mêmes services que la télégraphie électrique ordinaire ou même que la télégraphie optique, il faudrait qu'étant données plusieurs stations, l'une quelconque d'entre elles pût transmettre à plusieurs autres à la fois des télégrammes différents, en même temps qu'elle recevrait plusieurs télégrammes émanant d'autres stations. L'état actuel de la question est loin de le permettre, puisqu'à 2 500 m deux stations, réglées dans des tons différents, peuvent parfaitement communiquer.

Il serait donc nécessaire que, dans une même station, les antennes, destinées chacune à la communication avec une des stations correspondantes, fussent à une distance de 2 500 m environ les unes des autres!

De plus, le secret des correspondances n'est pas assuré, puisqu'une station quelconque peut être accordée sur une autre. Cependant, cet accord serait très long et très délicat à effectuer, si l'on n'avait pas de renseignements sur la constitution des stations dont on veut surprendre les télégrammes. Il serait plus facile de troubler leurs communications, en faisant varier d'une manière méthodique et continue les éléments d'un circuit de transmission installé à cet effet.

Néanmoins et bien que les appareils employés soient un peu délicats, l'état actuel de la question permet de nombreuses applications très utiles pour la Guerre, la Marine, le Commerce et les Colonies.

De l'emploi de la poix dans les raccords des câbles téléphoniques et télégraphiques, par **J. Queinnec**. *Annales télégraphiques*, t. XXV, p. 385-399.

Divers procédés ont été préconisés pour assurer l'étanchéité des raccords des câbles isolés à la gutta ou au papier. On a successivement utilisé le ruban goudronné, le caoutchouc vulcanisé et le caoutchouc pur, soit pour le guipage des soudures, soit pour recouvrir les extrémités des manchons en plomb. Tout ces moyens, fort coûteux, ne donnaient pas de garanties suffisantes.

D'excellents résultats ont été au contraire obtenus avec un mélange proposé par l'auteur et formé de poix de Suède, désignée vulgairement sous le nom de poix des cordonniers, à laquelle on mêle environ un cinquième en poids de suif, la proportion pouvant d'ailleurs varier un peu suivant la qualité de la poix.

Le mélange intime des deux corps est fait au bain-marie, ou au petit feu bien régulier. La composition que l'on obtient ainsi est nerveuse, élastique et se laisse pétrir comme la gutta. La chaleur des mains suffit à la ramollir pour cette opération. Cette composition conserve d'ailleurs invariablement son état pâteux et élastique à la température de 12° C qui est sensiblement celle des égouts et des tranchées profondes. Elle est employée depuis trois ans avec succès par la Direction des services électriques de Paris.

Le mode d'emploi diffère un peu suivant la nature des câbles à raccorder. A Paris, les câbles à enveloppe de plomb sont des câbles sous papier, des câbles sous gutta, et des câbles sous gutta transformés (1), contenant un nombre variable de conducteurs. Les câbles sous papier à 112 paires de conducteurs téléphoniques sont aujourd'hui fort employés ; à ses extrémités un câble de ce genre se subdivise en deux câbles de 56 paires aboutissant à une boîte de jonction où chacun se subdivise en 8 câbles à 7 paires ; finalement chaque câble à 7 paires s'épanouit en 7 lignes d'abonnés. Les câbles à 7 paires sont généralement sous papier ; il y en a aussi sous gutta et sous plomb ; de plus pour utiliser les anciens câbles sous gutta défectueux on emploie aussi des câbles appelés câbles sous gutta transformés (1).

Lorsqu'il s'agit de raccorder deux câbles sous gutta recouverts d'un tube en plomb, on glisse un manchon de plomb sur l'un d'eux, on réunit les conducteurs et on les isole à la manière ordinaire, on met le manchon en place, on comble le vide entre le manchon et le câble avec un peu de filasse ou de cordelette goudronnée, on bouche les deux extrémités du manchon avec la poix et enfin on recouvre ces extrémités de ruban goudronné assujetti au moyen de quelques

(1) Pour obtenir ces câbles on dépouille les anciens câbles à 7 paires sous gutta de leur enveloppe de plomb de 1,25 mm d'épaisseur et on les recouvre d'une nouvelle enveloppe de plomb semblable à celle des câbles sous papier. Cette enveloppe est plus épaisse, pour préserver plus longtemps le plomb des actions corrosives de certains égouts, et d'un diamètre légèrement plus fort pour obtenir du vide entre les conducteurs, et permettre l'envoi de l'air sec pour les dessécher : on peut ainsi utiliser des âmes dont la gutta est fendillée et en mauvais état.

Digitized by Google

tours de fils à ligature. La poix adhérant d'une façon parfaitement intime à tous les corps qu'elle touche, l'étanchéité du raccord ainsi obtenu ne laisse rien à désirer ; de plus, la poix conservant son état pâteux et élastique, le déplacement du manchon peut se faire sans aucune difficulté dans le cas de recherches et d'essais électriques.

Quand le raccord doit être fait entre un câble sous gutta et sous plomb et un câble sous papier et sous plomb, il ne suffit pas que le raccord soit étanche ; il faut encore empêcher que l'humidité introduite dans le câble sous gutta par une fente ou une cassure du plomb ne puisse, en suivant le filin par un phénomène de capillarité, gagner le câble sous papier. Pour cela on commence par obturer l'extrémité du câble sous gutta à raccorder en coulant de la poix fondue par cette extrémité après avoir enlevé le guipage couvrant la gutta sur une longueur de 10 cm environ (1). On fait ensuite le raccord comme il a été dit tout à l'heure

Pour le raccord des câbles sous gutta à 7 paires de conducteurs et des câbles sous gutta ou sous papier à une seule paire de conducteurs, on prend 7 baguettes de câble à une paire sous gutta, on entoure une de leurs extrémités d'une couronne de poix, puis on les réunit en un faisceau que l'on introduit sous un manchon en plomb dont une extrémité est légèrement évasée à cet effet. Les deux conducteurs de chaque baguette sont respectivement raccordés et soudés dans l'intérieur du manchon avec un circuit du câble à 7 paires sous gutta. Finalement les deux extrémités du manchon sont obturées extérieurement à la poix suivant le procédé décrit. Les lignes d'abonnés, sous gutta ou sous papier, qui viendront se souder aux baguettes, seront raccordées à ces baguettes comme il a été déjà dit.

Le raccord d'un câble sous gutta transformé avec un câble de même nature ou sous papier ne présente pas plus de difficultés. Bien que le procédé à la poix ne soit pas couramment employé jusqu'ici, il l'a été cependant pour deux câbles sous gutta transformés posés à la hâte pour donner satisfaction immédiate à des abonnés dont les lignes étaient complètement interrompues. Les raccords, quoique faits provisoirement, ont donné depuis deux ans toute satisfaction : l'air arrive très librement à l'extrémité du câble et l'isolement électrique s'est toujours maintenu stable et élevé.

Les câbles sous gutta à ruban tanné placés dans une conduite peuvent être facilement raccordés avec des câbles sous papier par ce procédé. Il suffit de réunir les extrémités des câbles sous gutta et à les introduire dans un tube de plomb de 30 à 50 cm de longueur ; on transforme ainsi l'extrémité de ces câbles sous ruban en extrémité d'un câble sous ruban et sous plomb et le raccord se fait comme il a été indiqué.

(1) Cette obturation s'effectuait auparavant avec de la paraffine fondue. Quand celle-ci était trop chaude la gutta fondait et il pouvait en résulter des pertes et des mélanges. De plus l'étanchéité obtenue par le tampon de paraffine ne se maintenait pas toujours, soit à cause d'une certaine contractilité par le refroidissement, soit parce que le tampon se crevassait ou se fendillait lorsque l'on touchait au câble. Avec la poix on n'a pas ces inconvéniens car si elle est versée trop chaude et fait fondre la gutta elle se substitue à celle-ci et, à cause de sa viscosité, empêche le contact des fils entre eux ou avec l'enveloppe ; de plus l'étanchéité de l'obturateur se maintient.

Les effets du givre sur les fils téléphoniques, par **Em. Piérard**. *Bulletin de la Société belge d'Electriciens*, t. XVII, janvier 1900.

L'auteur a profité de la période hivernale rigoureuse de la fin de 1899 pour recueillir quelques données sur l'importance des charges de givre qui peuvent s'agglomérer sur les fils téléphoniques.

Les expériences ont été faites dans une vaste cour des chemins de fer de l'Etat belge, à Malines. Dans l'une on constata qu'un fil de bronze phosphoreux de 2 mm de diamètre s'était recouvert d'une gaine uniforme de givre à section ovoïdale de 28 mm de largeur et 36 mm de hauteur ; la pesée du givre recouvrant une longueur de 98 cm donna 48 gr, soit environ 1,75 fois le poids du fil, lequel était de 28 gr.

Une seconde observation porta sur deux fils de bronze phosphoreux de 1,4 mm de diamètre et d'une portée de 31 m. Ils étaient recouverts de gaines uniformes mesurant dans leurs plus grandes dimensions 33 mm horizontalement et 34 mm verticalement. Une pesée a fait reconnaître que leur charge de givre était de 60 gr par mètre, soit 4,38 fois celui du fil. L'un des deux conducteurs ayant été d'un coup sec débarrassé de toute sa surcharge, sa flèche diminua de 30 cm.

Digitized by Google

Dans une troisième expérience on constata qu'un coup sec donné sur un fil de 1,4 mm de diamètre et de 77 m de portée fit diminuer la flèche de 45 cm en faisant tomber le givre.

Il a été reconnu que le givre s'enlève parfaitement bien par le choc et que les vibrations résultant du choc sont souvent efficaces au delà des points d'appui. Ceci suggère un moyen simple pour se débarrasser du givre sur les réseaux urbains, particulièrement dans le voisinage des tourelles centrales dont l'accès est toujours aisé et où la surcharge due au givre peut être considérable (d'après l'auteur cette surcharge serait de 30 000 kgr pour la tourelle du bureau central de Bruxelles où aboutissent 4 000 fils de portée moyenne de 250 m, en admettant 60 gr pour la surcharge par mètre dû au givre).

M. Piérard a calculé (1) l'augmentation de tension à laquelle donne lieu une gaine de givre du poids de 60 gr par mètre. Il trouve que pour une portée de 100 m d'un fil de bronze phosphoreux de 1,4 m de diamètre la tension passe de 38,4 kgr : mm² à 53,1 kgr : mm², et pour une portée de 500 m du même fil de 38,4 kgr : mm² à 103,8 kgr : mm². La charge de rupture du fil étant de 123,2 kgr : mm² à la température de — 5° on voit qu'à cette température, l'effet du givre est de faire tomber le coefficient de sécurité (qui était de 4 à 18°) à 2,33 dans le premier cas, et à 1,118 seulement dans le second.

M. Piérard a également calculé la charge de givre capable d'amener la rupture d'un fil de 1,4 mm de diamètre. Il suffit pour cela de résoudre l'équation (4) de la note ci-dessous par rapport à p'. Pour une portée de 100 m on trouve $p' = 398$ gr, de sorte que la surcharge de givre nécessaire pour provoquer la rupture serait de 384,3 gr par mètre, valeur qui sans doute ne pourra jamais être atteinte car elle correspond à une gaine d'un diamètre de 8,35 cm. Pour une portée de 500 m on trouve $p' = 98$, soit 84,3 gr par mètre courant pour la charge critique du givre. Toutefois même dans ce dernier cas la rupture du fil est peu probable, car par suite de l'allongement du fil la flèche prendrait une valeur telle que le conducteur viendrait reposer sur le sol avant que la limite d'élasticité soit atteinte. L'application de la formule (2) donne en effet, pour une portée $a = 500$ m, $l' = 503{,}3$ m, longueur à laquelle correspond une flèche de 24,90 m. Une augmentation de la flèche suffisante pour faire pendre les fils jusqu'à terre a d'ailleurs été constatée bien des fois et, en particulier, pendant ce dernier hiver. Aussi peut-on dire, malgré ce que cela présente de paradoxal au premier abord, que sous l'effet du givre le fil de bronze est incassable dans les longues portées. Au point de vue du givre, comme d'ailleurs aussi à celui des différences de tension dues aux variations de température, les longues portées se recommandent donc dans la construction des lignes en bronze à grande résistance mécanique. C'est la conclusion que M. Piérard tire de son observation et de ses calculs.

---

(1) On a pour la longueur l de poids p par mètre soumis à une tension T dans une portée de a mètres.

$$l = a + \frac{a^2 p^2}{24 T^2} \qquad (1)$$

Si sous l'effet du givre le poids devient p' (en kilogrammes par mètre), on a

$$l' = a + \frac{a^2 p'^2}{24 T'^2} \qquad (2)$$

Mais la nouvelle longueur est liée à l'ancienne par la relation

$$l' = l\,[1 + e'(T' - T)] \qquad (3)$$

e' étant l'allongement d'un fil du métal dont il s'agit ayant un mètre de longueur et soumis à une traction de un kilogramme par millimètre carré.

En éliminant l et l' entre ces trois relations, on obtient

$$T'^3 + T'^2\left(\frac{a^2 p^2}{e'(24 T^2 + a^2 p^2)} - T\right) = \frac{a^2 p'^2 T^2}{e'(24 T^2 + a^2 p^2)} \qquad (4)$$

Dans l'hypothèse d'une portée de 100 m du fil considéré, on a $a = 100$, T (à $-5°$) $= 38{,}4$ $p = 0{,}0137$ $p' = 0{,}0737$, $e' = 0{,}00005068$ et l'équation devient

$$T'^3 - 37{,}36\,T'^2 = 44\,700$$

d'où l'on tire $T' = 53{,}1$ kg : mm².

Pour une portée de 500 m, on a

$$T'^3 - 0{,}2\,T'^2 = 1\,120\,000,$$

d'où $T' = 103{,}8$ kg : mm².

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et généralités

Les progrès de l'électricité en 1899. — *C. Raveau*. 21

Le développement des applications de l'électricité en 1899. — *J. Reyval* 212

Conductibilité calorifique, conductibilité électrique, chaleur spécifique et pouvoir thermo-électrique de quelques métaux. — *W. Jæger* et *H. Diesselhorst* 355

Sur l'énergie des courants. — *A. Pérot* 5

Sur l'énergie des courants. — *A. Potier* 81

Champs de vecteur et champs de force. Action réciproque des masses scalaires et vectorielles. Energie localisée. — *André Broca*. 152

Sur les masses vectorielles de discontinuité. — *André Broca* 270

Expression de la puissance avec la méthode des imaginaires de M. Steinmetz. — *C.-F. Guilbert* 361

Représentation des fonctions périodiques complexes à l'aide des imaginaires. — *C.-F. Guilbert*. 405

Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Conducteurs. — Sur l'existence des dérivées secondes du potentiel. — *Henrick Petrini* . 237

Sur une propriété des lignes de flux du courant électrique dans un milieu hétérogène. — *D.-D. Chwolson*. 195

Les modifications permanentes des fils métalliques et la variation de leur résistance électrique. — *H. Chevallier* 153

Influence du diélectrique environnant un fil de cuivre sur sa conductibilité. — *J.-F. Merrill*. 314

Sur la variation de la résistance de certains amalgames avec la température. — *R.-S. Willows* 394

Cohéreurs ou radioconducteurs. — *M. Lamotte*. . 481

Sur la capacité des conducteurs symétriques soumis à des tensions polyphasées. — *Ch.-E. Guye*. 476

Electrolytes. — Sur la théorie de la tension de dissolution électrolytique. — *R.-A. Lehfeldt* 395

Electrolyse de solutions aqueuses et de deux sels ayant un ion commun. — *Mac Gregor* . . 234

Sur la cristallisation métallique par transport électrique de certains métaux dans l'eau distillée. — *Thomas Tommasina*. . 272, 397, 477

Conductibilité de l'ammoniaque liquide. — *Goodwin* et *de Kay-Thompson*. 314

Diélectriques. — Recherches sur les pouvoirs inducteurs spécifiques. — *W.-D. Coodlige* . 34

Sur la distribution du potentiel dans un milieu hétérogène. — *A.-A. Pétrovsky*. 152

Sur la mesure de la capacité dans un milieu hétérogène. — *A.-A. Pétrovsky* 193

Recherches théoriques sur les déformations électriques des diélectriques solides isotropes. — *Sacerdote* 317

Pouvoir diélectrique et conductibilité de l'ammoniaque liquide. — *Goodwin* et *de Kay-Thompson*. 314

Décharge électrique.

Décharge lente. — Sur la transmission de l'électricité par l'air à haute température. — *M. Khessin*. 196

Décharge disruptive. — Période d'établissement de l'étincelle électrique. Sa durée totale. — *H. Abraham* et *J. Lemoine* 238

Effet de la chaleur sur la décharge d'une bobine d'induction dont le circuit primaire est muni d'un interrupteur électrolytique. — *J. Smith* 394

Digitized by Google

Sur la décharge des corps électrisés et la formation de l'ozone. — *P. Villard* . . . 155, 479

DÉCHARGE DANS LES GAZ RARÉFIÉS. — Contribution à l'étude des stratifications. — *H. Pellat*. . 271
Distribution des molécules gazeuses dans un champ électrique. — *G.-W. Walker* 480
Distribution de l'électricité libre à la surface des tubes de Crookes. — *E. Riecke*. 438

RAYONS CATHODIQUES. — Diffusion des rayons cathodiques dans différents gaz. — *W. Kaufmann*. 357
Sur les rayons cathodiques et les rayons-canal. — *Berg*. 68
Sur les rayons-canal et les rayons cathodiques. — *Paul Ewers* 70
Loi de formation de la région cathodique obscure de Hittorf. — *H. Ebert*. 72
Phénomène des lueurs dans les décharges par courants alternatifs de haute fréquence. — *H. Ebert* 73

Oscillations hertziennes.

Sur l'étude expérimentale de l'excitateur de Hertz. — *R. Swyngedauw*. 475
Réflexion et transmission des ondes électriques le long des fils. — *E. Barton* et *L. Lownds*. 276
Dispersion dans le spectre électrique. — *E. Marx*. 32
Recherches sur la dispersion électrique de quelques acides organiques et éthers et de dix variétés de verre. — *K.-F. Lœwe* 31
Sur la double réfraction des rayons de force électrique dans les cristaux. — *E. Pasquini* . 35

Rayons Rœntgen, rayons Becquerel, etc.

RAYONS RŒNTGEN. — Rayons X et décharge : Généralisation de la notion de rayons cathodiques. — *G. Sagnac*. 270
Sur la nature de la lumière blanche des rayons X. — *E. Carvallo*. 158
Une méthode de mesure de la vitesse des rayons Rœntgen. — *Bernard Brunhes*. 157
Expériences de diffraction et détermination de la longueur d'onde des rayons de Rœntgen. — *M. Maier* 359
Courants de convection et chute de potentiel aux électrodes provoqués par les rayons X. — *J. Zeleny*. 359
Les actions pondéromotrices d'un tube de Crookes à rayons X, et l'aspect de son changement d'action. — *N. Mychkine*. 196
De l'emploi des courants triphasés en radiographie. — *Délézinier*. 37
Sur un phénomène particulier à l'emploi des courants triphasés en radiographie. — *Délézinier*. 194
Sur la production de rayons X secondaires par le corps humain et sur un point important de la technique radiographique. — *Th. Guilloz* 273

RAYONS BECQUEREL. — Action du champ magnétique sur les rayons de Becquerel. Rayons déviés et rayons non déviés. — *P. Curie*. 113
Sur la pénétration des rayons de Becquerel non déviables par le champ magnétique. — *Mme Slodowska-Curie* 114
Les rayons de radium transportent de l'électricité négative. — *P. Curie* 400
Sur les rayons du polonium et du radium. — *M.* et *Mme Curie* 399
Sur le rayonnement des corps radio-actifs. — *Henri Becquerel*. 36
Sur la dispersion du rayonnement du radium dans un champ magnétique. — *H. Becquerel*. 314, 317
Contribution à l'étude du rayonnement du radium. *H. Becquerel* 235
Radiation du thorium. — *R.-B. Owens* 233

Magnétisme.

Méthode pour construire des aimants indépendants des variations de température ; expériences sur les coefficients de température anormaux ou négatifs dans les aimants. — *J.-R. Ashworth* 439
Relation entre l'aimantation et les autres phénomènes. — *Ch. Maurain* 201
Sur la distribution de l'induction magnétique autour d'un noyau de fer. — *A. Stefanini*. 472
Susceptibilité magnétique des combinaisons. — *J. Königsberger*. 471
Susceptibilité moléculaire des sels paramagnétiques du groupe du fer. — *O. Liebknecht* et *A.-P. Wills*. 471
Susceptibilité moléculaire des sels paramagnétiques des terres rares. — *H. du Bois* et *O. Liebknecht* 472
Sur la loi élémentaire des actions électromagné-

Digitized by Google

tiques et l'induction unipolaire. — *C. Raveau*. 161, 397
Sur un paradoxe expérimental et théorique en électricité et sur l'induction unipolaire. — *E. Lecher*. 161
A propos de l'induction unipolaire — *Crémieu* . . 479
Sur l'induction unipolaire. — *A. Blondel*. . . . 479
Sur l'interprétation de l'effet thermomagnétique dans la théorie de Voigt. — *G. Moreau* . 395
Sur les courants thermomagnétiques. — *G. Moreau*. 315
Sur le phénomène de Hall et les courants thermomagnétiques. — *C. Moreau*. 154

Sources d'électricité.

Controverse concernant la force électromotrice de Volta. — *O. Lodge* 318
Sur la théorie de la bobine d'induction. — *H. Armagnat*. 121
Comparaison des diverses formes de l'interrupteur Wehnelt et de l'interrupteur Foucault. — *A. Turpain* 314

Électricité atmosphérique et magnétisme terrestre.

Un éclair multiple remarquable XXIII
Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1900. — *Th. Moureaux* 112

Thermo-électricité.

Sur le courant thermo-électrique dans un circuit formé par un métal unique. — *B. Rosing* 195

Électro-optique.

Sur la théorie de l'influence d'un champ électrostatique sur les propriétés optiques des corps — *W. Voigt*. 149
Disparition instantanée de la polarisation rotatoire magnétique. — *H. Abraham* et *J. Lemoine*. 360
Sur l'absorption de la lumière dans un gaz placé dans un champ magnétique. — *A. Righi*. 150
Sur la relation entre le phénomène de Zeeman et la rotation magnétique anomale du plan de polarisation. — *D. Macaluso* et *O. Corbino* 151
Remarques sur les intensités relatives des composantes dans l'effet Zeeman. — *W. Voigt* . 151
Lumière polarisée émise par un tube de Geissler soumis à l'action d'un champ magnétique. — *R. Dongier*. 238
Dissymétrie dans l'émission polarisée d'un tube de Geissler soumis à l'action d'un champ magnétique. — *R. Dongier* 474

Électrobiologie

Sur quelques effets des décharges électriques sur le cœur des mammifères. — *J.-L. Prévost* et *F. Battelli* 38
Action du courant continu sur la respiration du muscle pendant sa survie. — *Th. Guilloz*. 195
Rapport entre la variation d'excitation des nerfs et la variation de densité des courants excitateurs à différents potentiels. — *Stephane Leduc*. 360
Action des courants de haute fréquence et de haute tension sur la tuberculose pulmonaire chronique. — *E. Doumer*. 397
Influence anodique sur la conductibilité nerveuse chez l'homme. — *S. Leduc* 478

APPLICATIONS

Génération, transformation de l'énergie électrique.

Le développement des applications de l'électricité en 1899. Génération et distribution de l'énergie électrique. — *J. Reyval* 92
Machines motrices. — Appareil Kermode pour le chauffage des chaudières à vapeur. 26

Digitized by Google

Nouveau dispositif économique pour le chauffage des chaudières. — *L.-C. Auldjo* 97
Eaux corrosives et incrusto-corrosives dans les générateurs de vapeur. — *H. de la Coux*. 98
Quelques expériences pour l'étude de la circulation de l'eau dans les chaudières. — *Ch. Bellens* 27
Machine à vapeur de 150 chevaux effectifs pesant 600 kgr. II
Machines verticales de 3 000 chevaux de la station de Luisenstrasse de Berlin XVI
Les destructeurs d'ordures de l'usine de Shoreditch. — *Douglas Fox* II
Sur les moteurs à gaz à explosion. — *L. Marchis*. 474

DYNAMOS, ALTERNATEURS, ETC. — Machines dynamos électriques. Dynamos à courant continu. — *C.-F. Guilbert* 449
Dynamo Bocquentin 453
Dynamo Walker. 451
Perfectionnements aux dynamos Scott 455
Bobine inductrice de dynamo Earle 453
Epanouissements polaires Coleman de Kando. . . 449
Procédé Siemens et Halske pour la ventilation des machines à courant continu 452
Porte-charbon Burke. 450
Porte-balais Patterson, Davies et Whate 450
Porte-balais Scott 454
Dispositif de décalage des balais de Holmes . . . 454
Sur la résistance des balais de dynamos. — *R.-B. Tibbats, L. Lowenberg* et *W.-G. Burns* . . 384
Dynamos pour distribution par arcs en série. — *Ch. Green*. 19
Génératrices polymorphiques. — *A.-D. Adams* 347, CXIX
Alternateur Compound de la General Electric C° . 493
Sur les avantages de l'emploi des génératrices à courants diphasés dans les stations de distribution d'éclairage. — *H. Girgensohn*. . 387
Nouveaux enroulements triphasés. — *Giovanni Ossanna* 265
Recherches sur la courbe de court-circuit des alternateurs. — *Alex. Rothert*. 296
Sur la chute de tension dans les alternateurs. — *B.-V. Behrend*. 303
Sur la chute de tension dans les alternateurs. — *Arnold* 306
Sur la marche en parallèle des alternateurs. — *Gustave Benischke* 343
Sur la conduite des alternateurs couplés en parallèle aux bornes d'un réseau à potentiel constant. — *G. Chevrier* 401
Machines dynamo-électriques. Transformateurs. — *C.-F. Guilbert* 166
Transformateur Levavasseur 168
Transformateur Veritys et Steele 169
Transformateur Blathy 167
Dispositif de mise hors-circuit des transformateurs à vide. — *F.-B. Müller*. 108
Convertisseurs de phase. — *R.-W. Quick* 495
Procédé d'excitation magnétique de la E. A. G. Helios 492
PILES ET ACCUMULATEURS. — Pile Harrison 414
Pile Poppenburg. 414
Accumulateur T. de Michalowsky à sesquioxyde de nickel 415
Accumulateurs pour automobiles électriques. — Le Concours international de l'Automobile-Club. — *J. Blondin* 57
Accumulateurs pour automobiles électriques. — Le Concours international de l'Automobile-Club. — *A. Bainville* . . . 130, 171, 289, 336
Accumulateurs pour automobiles électriques :
Société pour le travail électrique des métaux . 130
Pollak 132
Tudor 134
Pescetto. 135
Blot-Fulmen. 171
Fulmen 172
Phénix 174
Pope 176
Société des Soudières électrolytiques. 289
Titan 290
Pope 292
Lagarde 336
Tudor. 338
Hathaway. 339
Wuste et Rupprecht 341
Sur les batteries-tampons. — *L. Jumau* 51
Sur les batteries-tampons. — *L. Gebhard* 51
Méthode graphique pour la détermination du travail d'une batterie-tampon. — *Moritz Köhn* . 415
Sur la batterie-tampon des tramways de Reichenberg (Autriche-Hongrie). — *U. Schoop* . 418
Commutateur tournant Thomsen pour le groupement d'une batterie d'accumulateurs en série ou en parallèle. 170
Procédé de Thomsen pour la transformation d'un courant continu de basse tension en courant de haute tension, au moyen d'accumulateurs et d'un commutateur tournant . . 170

USINES ÉLECTRIQUES. — Les agrandissements de l'usine électrique de la ville de Zurich. — *J. Guillaume* 292
Station électrique de Trieste, — *G. Szuck* 490
Station électrique de Promontor. — *E. Pick* . . . 262
Station centrale de Ventnor (île de Wight). . . LXXXVI
Station centrale de Bonn. — *P. Bauer* CIV
Usine génératrice de Grands Rapids (Michigan, États-Unis). XVIII
Usine génératrice d'Allegheny (États-Unis) . . . XXVI
Usine génératrice de Niagara. LXIX
Usine génératrice hydro-électrique de Masséna (États-Unis). CIV

Digitized by Google

Usine génératrice de Govan (Angleterre) . . . LXXXVII
Nouvelle usine génératrice de Brooklyn XXXVIII
Usine de la Métropolitan Street Railway Cº de New-York CXLIV
Usine de raffinage de cuivre d'Anaconda XII
Usine de raffinage de cuivre de Great Falls . . . XLVIII
Sur l'utilisation des stations génératrices d'électricité comme stations centrales de chauffage. — *W. H. Schott* 319
Sur les économies possibles dans les stations centrales. — *H. W. Frund* 280
Conséquences de l'emploi des compteurs à double tarif à Brooklyn. XVIII
Comparaison des divers types de moteurs de stations centrales. — *A. W. Richter* 280
Essais d'un groupe électrogène pour traction de 300 kilowatts. — *Edward Willis* 28
Essais d'un turbo-alternateur de 500 kilowatts de la station de Cambridge. — *M. Parsons* . 99
Essais d'un moteur à gaz Westinghouse de 125 chevaux. — *Robertson* XXXVIII

Distribution de l'énergie électrique.

Distribution de l'énergie électrique. — Système de distribution de l'énergie électrique. — *C. F. Guilbert*. 13
Système de distribution à courants alterdatifs. — *C. Scott*. 13
Système de distribution à courants alternatifs. — *Lamme* 13
Système de distribution à courant continu. — *A. Blackburn, W. Spence* et *E. Moore*. . 16
Transmission de force motrice à grandes distances au moyen du courant continu, système Thury. — *H. Cuénod* et *Thury*. 115
Procédé Hélios de distribution simultanée de courant alternatif et de courant continu . . . 222
Sur la mise à la terre des circuits secondaires et les risques d'incendie. — *T. Hutchinson* . 100
Répartition des courants dans les réseaux alternatifs. — *Cl. Feldmann* et *I. Herzog*. . . . 222
Remarques sur l'installation et l'exploitation des réseaux de distribution. — *Doherty* . . . 277
Application de la théorie graphique à l'étude des principales canalisations à courants alternatifs et polyphasés. — *S. Hanappe*. 241, 283
Calcul graphique d'une ligne souterraine triphasée concentrique. — *Ch. E. Guye* 83
Sur la capacité des conducteurs symétriques soumis à des tensions polyphasées. — *Ch. E. Guye* 476
Courant produit dans un circuit inducteur par une différence de potentiel de forme périodique parabolique. — *A. Russell* 107
Comment les courants des condensateurs et des bobines de réaction varient avec la forme de l'onde de la force électromotrice appliquée à leurs bornes. — *A. Russell* . . . 504
Théorie du facteur de puissance. — *A. Russell*. . 102
Facteur de puissance (mesure du). — *J. Bowie*. . 500
Législation étrangère des distributions d'énergie. — *A. Blondel*.
Législation allemande, législation italienne. LXXXVIII
Législation anglaise. CVI
Législation des Etats-Unis. CXX
Législation suisse. CXLII
La distribution de l'énergie électrique en Allemagne. — *Ch. Bos J. Laffargue* IV
Information : Chambéry (Haute-Savoie). XCII

Appareillage. — Régulateur de tension Siemens et Halske pour réseaux à courants triphasés. 166
Sur l'emploi de l'aluminium pour les canalisations électriques. — *J. Guillaume* 321
Essais d'isolateurs en verre pour lignes industrielles. — *Quantin*. 389
Fonctionnement de parafoudres. — *F. Neesen*. . . 226
Dispositifs de sécurité pour réseau à trois fils. — *Veritys* et *J.-J. Steele* 20
Commutateur à distance de la E.-A.-G. Schuckert. 181
Coupe-circuits et interrupteurs pour hautes tensions. — *Vedovelli*. 275
Coupe-circuits automatiques Wright et Aalborg . 335
Coupe-circuits, commutateurs, raccords et douilles pour lampes à incandescence. — *Zetter*. 439
Coupe-circuit tripolaire pour moteurs d'ascenseurs électriques, — *Zetter*. 440
Sur un nouveau procédé d'extraction du caoutchouc contenu dans les écorces de diverses plantes et notamment des Landolfia. — *A. Arnaud* et *A. Verneuil*. 240

Applications mécaniques.

Moteurs électriques. — Machines dynamo-électriques. Moteurs à courant continu. — *C.-F. Guilbert* 250
Moteur double à induit et inducteurs mobiles de J.-T. Robson, C.-H. Mardsen et H.-N. Headland 251
Moteurs cuirassés Wilson 253
Moteurs cuirassés tétrapolaires Lundell. 253
Moteur Maquay et Vanderpump avec engrenages réducteurs 255
Procédé Hartnell pour la ventilation des moteurs cuirassés 252

Digitized by Google

Du frottement dans la marche à vide des moteurs d'induction. — *Rudolf Braun*. 64
Notes sur le calcul des moteurs à courants polyphasés. — *Georges Giles* 441
. . . . . .
Appareils et machines divers. — Applications mécaniques de l'électricité. — *G. Richard*. . 328
Grue électrique de 150 tonnes du port de Brême . xxvi
Chariot transbordeur électrique, sans fosse, de la Compagnie d'Orléans. — *Sabouret* l
Pompe électrique à incendie Whiting 334
Gouvernail propulseur Duncan 250
Vigie sous-marine Orrechioni. cviii
Appareil pour block-système avec protection contre les trains inverses. — *O. Willach*. 179
Installation électrique des block-systèmes avec action directe du courant électrique sur le mécanisme. — *F. Krizik* 421
Séparateur magnétique J. Bromilow pour ateliers de construction. — *P. Chevillard*. . . . 177
Installations minières de Cripple Creek 330
Sur la commande des presses d'imprimerie par l'électricité. — *Tapley*. 331
Installations de drainage de la Nouvelle-Orléans . 333

Traction électrique.

Le développement de la traction électrique en 1899. — *G. Pellissier* 126
Dispositif Siemens et Halske pour voitures à trôlet et à accumulateurs 353
Frein Hélios à courants de Foucault pour moteurs de tramways. 354
Quelques connecteurs de rails de tramways. — *J. Zalesky* 137
Connecteur Edison-Brown 138
Connecteur « Chicago » 138
Connecteur « Couronne » 138
Connecteur Védovelli. 139
Connecteur de rails Boult. 29
Appareils pour essais de la résistance des joints de rails. — *R.-W. Conant* et *Ch.-J. Schnaus*. 30
Les installations de traction électrique faites par l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft. cxlix
La traction électrique en Grande-Bretagne . . . xcii
L'usine de 70 000 chevaux de la Metropolitan Street Railway Cº de New-York. . . . cxliv
Le tramway électrique de Lourdes. xxxix
Les tramways d'Orléans cxlvi
Tramways électriques de Boulogne-sur-Mer . . . 29
Tramway électrique de la porte Maillot à Suresnes, système Vedovelli. — *X. Gosselin* 440
Chemin de fer électrique napolitain xi
Le métropolitain électrique de New-York. — *Marcel Delmas*. viii
Le métropolitain de Boston. — *Delmas* xl
Projet d'installation de traction électrique sur les lignes de chemin de fer urbaines de Berlin 349
Notes sur la traction dans différentes villes du monde :
Bâle, Belfast, Berlin, Berne, Bruxelles, Buenos-Ayres, Calcutta, Cape-Town, Chine, Christiana, Copenhague. xix
Cork, Dublin, Edimbourg. xliii
Florence, Francfort, Gand l
Glascow, Le Havre, Kingston, Liverpool, Lyon, Maracaïbo, Marseille, Mexico, Munich, Naples, Paris, Prague, Reims, Saint-Pétersbourg, Stockholm, Stuttgart, Sydney, Tegucigalpa, Toronto xciii
Prix de revient de l'énergie électrique au tableau de distribution dans les stations génératrices de tramways. — *R.-W. Conant* 256
Informations :
Cette, Lille, Paris (Montmartre à la gare Montparnasse). xi
Annecy, Chamonix, Clamart, Jussy, Le Caire, Les Rousses, Vierzon xlv
Alger, Angoulême, Bordeaux, Jussy, Nimes, Le Raincy. . . . . xciv.
Avignon, Lyon, Montauban, Paris (nouvelles lignes) cxxvii
Evreux, Longwy, Lyon, Toulouse cxxxii
Les fiacres électriques de New-York. — *G. Pellissier*. 41, 88
Voiture d'ambulance électrique cli
Avant-train électrique Solignac. l
160 kilomètres en automobile sans recharge des accumulateurs. xxi

Télégraphie et Téléphonie.

Cohéreurs ou radio-conducteurs. — *M. Lanotte* . 481
Le poste de télégraphie sans fil de Wimereux. — *J. Boulanger et G. Ferrié*. 507
Essais de télégraphie sans fils. — *Tissot*. . . . 80
Projet de télégraphie sans fil entre l'Inde et Sumatra. — *R.-C. Temple*. xi
Télégraphie sans fils sur les lignes de paquebots anglo-françaises xxviii
La télégraphie sans fils dans la marine américaine xlv
Sur la protection des lignes télégraphiques et téléphoniques contre les dangers du contact

Digitized by Google

avec les lignes industrielles. — *L'Hoest* . 118
Exposé des divers systèmes destinés à éviter le danger d'un contact entre les fils de télégraphe et de téléphone et ceux du trôlet. — *A. Moens* 39
Détermination rapide et sur place de la position d'une perte dans un câble terrestre ; méthode de M. Barbarat. — *J. Garraud*. . . 139
Grappins Rouillard pour le dragage des câbles sous-marins. 67
Projet d'extension du réseau télégraphique sous-marin français. XLVII
Un nouveau câble entre la France et l'Angleterre . XCIV
Câble transpacifique « tout anglais ». XCV
Navire télégraphique allemand XCVII
La télégraphie entre le Caire et le Cap. XII
De l'emploi de la poix dans les raccords des câbles téléphoniques et télégraphiques. — *J. Queinnec* 515
Les effets du givre sur les fils téléphoniques. — *Em. Piérard*. 516
Conducteurs téléphoniques en aluminium. — *Massin*. 140
Développement du service téléphonique dans les différents Etats d'Europe :
Allemagne, Angleterre, Autriche, Bavière, Belgique, Bulgarie, Danemark, Espagne, Hollande, Hongrie. CXXVII
France, Luxembourg, Norvège, Roumanie, Russie, Suède, Suisse, Wurtemberg. . . CLI
La téléphonie interurbaine en Italie XCIX
Eric Telephone System. XCIX

Applications thermiques.

Fers à souder électriques. — *G. Goisot* 456
Fer à souder électrique Fouché 458
Fer à souder électrique Stolz et Schindler-Jenny. . 458
Fer à souder électrique de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft 458
Interrupteur automatique pour appareils de cuisine électrique de F.-W. Schindler-Jenny . . 459
L'électrosidérurgie. — *L. Belloc* 461
Four électrique Shaw et Allis 462
Four électrique de Laval. 462
Four électrique Taussig 463
Four électrique Urbanitzky et Fellner 463
Four électrique Wikstrœm 463
Four électrique Borchers 464
Four électrique Stassano 465
Four électrique Corniani et Berlani. 465
Four électrique de la Electric Reduction C° à résistance de chauffage pour obtenir la fusion et les réactions chimiques. 459
Allumage électrique des becs de gaz. — *A. Berthier* 182
Sur les divers modes d'allumage électrique des moteurs à essence. — *A. Berthier* . . . 465

Éclairage électrique.

Les lampes à incandescence. — *G. Richard*. . . . 206
Appareil Swan pour fabriquer les lampes à incandescence 209
Pompe mécanique à vide Hiram Maxim 206
Lampe à incandescence Rice 210
Filaments Hirst pour lampes à incandescence. . . 210
Lampe à incandescence de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft. 211
Montures Siemens et Halske pour lampes à incandescence 211
Lampes à incandescence Fessenden à filament électrolytique. 142
Essais de lampes à incandescence. — *G.-D. Shepardson* 320
Sur les lampes à arc sans rhéostat. — *Bochet*. . . 273
Récent développement de l'emploi des lampes à arc enfermé à courant alternatif. — *R. Fleming*. 278
Recherches spectro-photométriques sur l'arc continu. — *Lehmann-Richter* 141
Système de distribution pour arcs en série. — *Ch. Green* 17
Eclairage électrique des trains. — *G. L'Hoest* . . 39
Les installations d'éclairage électrique de Govan (Angleterre) LXXXVII
Informations : Oran (Algérie). XCII
Eclairage du pont de Niagara XII

Électrochimie et Électrométallurgie.

Le développement de l'électrochimie et de l'électrométallurgie. — *J. Reyval* 212
Les procédés électrolytiques exploités industriellement. — *W. Borchers* 231
Ozoneur Yarnold 110
Ozoneur Dan Martini. 425
Ozoneur C.-G. Armstrong et W.-D. Neel 426
Anodes Parent, Hargreaves et Stubbs. 144

Digitized by Google

Anodes en charbon I.-L. Roberts 426
Diaphragme poreux J.-T. Holland et A.-P. Laurie pour électrolyse. 31
Electrolyseur Chalandre, Colas et Gérard pour alcalis et chlore 427
Electrolyseur J.-T. Holland et A.-P. Laurie pour alcalis et chlore 427
Electrolyseur Michel, Wilhelm et Richard pour alcalis et chlore 428
Electrolyseur F. Störmer pour alcalis et chlore. . 429
Electrolyseur Solvay à cathode mercurielle pour l'électrolyse continue des sels alcalins. . 427
Electrolyseur Rhodin pour sulfates alcalins. . . . 109
Sur l'électrolyse du chlorure de potassium; — *A. Brochet* 159
Recherches sur la préparation électrolytique des chlorates, bromates et iodates alcalins. — *Erich Müller* 308
Sur la formation électrolytique du chlorate de potassium. — *A. Brochet* 477
Sur la préparation électrolytique de l'acide perchlorique et de ses sels. — *F. Færster* . 390
Procédé Deissler pour la préparation électrolytique des persulfates et permanganates alcalins 230
Procédé Freeman pour la fabrication continue du carbure de calcium. 31
Influence de la pulvérisation des matières premières sur la production du carbure de calcium. — *B. Carlson*. 111
L'acétylène et ses applications. L'acétylène dissous. — *Janet*. 197
Action du cuivre sur l'acétylène ; formation d'un hydrocarbure très condensé, le cuprène. — *P. Sabatier* et *J.-B. Senderens*. . . . 239
Procédé F.-A. Gooch pour la production de l'aluminium 145
Sur la fabrication électrolytique de l'aluminium. — *G.-H. Robertson*. 146
Fabrication et usages de l'aluminium.— *J.-H. Henderson* 147
Sur les propriétés et les applications de l'aluminium. — *A. Ditte* et *H. Moissan* 391
Sur un nouveau dosage de l'aluminium. — *Alfred Stock*. 194
Recherches sur les circonstances de formation des dépôts spongieux de zinc électrolytique. — *Færster* et *O. Günther*. 148
Procédé Steinhart, Vogel et Fry pour l'extraction électrolytique du zinc et de son oxyde . . 311
Procédé électrolytique Lyte pour la déshydratation du chlorure de zinc 31
Quelques notes sur l'électro-galvanisation. — *Sh. Cowper-Coles* 312
Procédé centrifuge Cowper-Coles pour la fabrication électrolytique des tubes de cuivre 432
Electro-déposition du cuivre de solutions alcalines. *Sh. Cowper-Coles* 312
Procédé E. Frénot pour la préparation électrolytique du sulfate de cuivre pur et du cuivre. 231
Procédé J. F. L. Mœller et E. A. G. Street pour la préparation électrolytique du chrome . . 430
Procédé Street pour la préparation électrolytique de l'oxyde de chrome. 432
Bains d'électro-déposition Marino à la glycérine. . 311
Bains d'électro-déposition cyanurés du Dr Courant. 429
Procédé S. B. Christy pour l'électro-déposition de l'or et de l'argent des solutions cyanurées étendues 432
Pouvoirs réflecteurs de quelques dépôts métalliques électrolytiques.— *Sh. Cowper-Coles.* 233
Sur la préparation électrolytique des matières colorantes 468
Sur la préparation électrolytique des matières colorantes dérivées de l'aniline. — *E. C. Szarvasy* 469
Sur la préparation électrolytique des matières colorantes semblables à celles de l'induline. — *Walther Lœb*. 471
Sur le siliciure de molybdène. — *E. Vigouroux* . . 37
Sur un nouveau sulfure de molybdène cristallisé, — *Marcel Guichard*. 160
Sur la préparation au four électrique des phosphures de fer, de nickel, de cobalt et de chrome. — *G. Maronneau*. 474
L'usine génératrice et les usines électrochimiques du Niagara. — *Delmas* LXIX
Usine de raffinage électrolytique de cuivre d'Anaconda (Montana) XII
Usine de raffinage électrolytique du cuivre de Great-Falls (Montana) XLVIII
Assainissement de la Havane par les hypochlorites électrolytiques LXXI

MESURES

Appareils de mesures. — *H. Armagnat* 370
Galvanomètre Weston 370
Galvanomètre double E. Thomson. 371
Voltmètre thermique Karl Lehner. 372
Electromètre E. Weston 373
Electromètre E. Thomson 374
Dispositif Voisey et Wilson pour le montage des électromètres 372

Digitized by Google

Wattmètre Weston 374
Electro-dynamomètre et transformateurs Elphinstone et Heape 375
Dispositif Siemens et Halstke pour la mesure de l'énergie de courants triphasés 377
Enregistreur J. H. Barker 378
Sur l'amortissement des aiguilles de galvanomètre. — *Salomon* 480
Système électro-magnétique Weiss applicable aux instruments de mesure 269
Compteur G. Hummel 270
Bornes May pour la vérification des compteurs . . 190
Sur l'étalonnage des compteurs électriques. — *J. Sahulka* 184
Ampère-heure-mètre Liebenow 75
Mesure des grandeurs électriques dans les circuits à courants alternatifs. — *Omer de Bast*. 40, 120
Méthodes et appareils de mesures pour systèmes triphasés. — *Riccardo Arno* 379
Sur le moyen d'obtenir de grands décalages de phase et leur application à divers appareils de mesure. — *J. Görner* 77
Dispositif Siemens et Halske pour obtenir un décalage de phase de 90° dans les appareils de mesure à champ tournant. 76
Dispositif Hartmann et Braun pour la compensation du décalage de phase dans les instruments à courant alternatif. 77
Appareil pour les isolements en marche des installations en courant alternatif. — *G. Benischke* 191
Quelques remarques sur l'emploi du fil de garde de Price dans les essais d'isolement. — *Ayrton* et *Mather* 276
Méthode d'essai des câbles sous tresses et autres câbles isolés. — *Appleyard*. 276
Mesure du facteur de puissance. — *J. Bowie*. . . 500

DIVERS

Nécrologie.

Vaschy 115
Hughes. 273

Sociétés savantes et techniques, Expositions, etc.

Acdaémie des Sciences. — Séance du 26 décembre :
Sur le rayonnement des corps radio-actifs. — *Henri Becquerel* 36
De l'emploi des courants triphasés en radiographie. — *Délézinier* 37
Sur le siliciure de molybdène. — *E. Vigouroux* 37
Sur quelques effets des décharges électriques sur le cœur des mammifères. — *J.-L. Prévost* et *F. Battelli* 38
Séance du 5 janvier 1900 :
Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1900. — *Th. Moureaux*. 112
Action du champ magnétique sur les rayons de Becquerel. Rayons déviés et rayons non déviés. — *P. Curie*. 113
Sur la pénétration des rayons de Becquerel non déviables par le champ magnétique. — *M. Slodowska-Curie* 114
Séance du 15 janvier 1900 :
Champs de vecteur et champs de force. Actions réciproques des masses scalaires et vectorielles. Energie localisée. — *André Broca*. 152
Sur la distribution du potentiel dans un milieu hétérogène. — *A.-A. Pétrovsky* 152
Les modifications permanentes des fils métalliques et la variation de leur résistance électrique. — *H. Chevallier*. 153
Sur le phénomène de Hall et les courants thermomagnétiques. — *G. Moreau*. 154
Sur la décharge des corps électrisés et la formation de l'ozone. — *P. Villard*. 155
Une méthode de mesure de la vitesse des rayons Röntgen. — *Bern. Bruhnes*. . . . 157
Sur la nature de la lumière blanche des rayons X. — *E. Carvallo*. 158
Sur l'électrolyse du chlorure de potassium. — *A. Brochet* 159
Sur un nouveau sulfure de molybdène cristallisé. — *M. Guichard*. 160
Séance du 22 janvier 1900 :
Sur la mesure de la capacité dans un milieu hétérogène. — *A.-A. Pétrovsky* 193
Sur un phénomène particulier à l'emploi des courants triphasés en radiographie. — *Délézinier*. 194
Sur un nouveau procédé de dosage de l'aluminium. — *A. Stock* 194
Action du courant continu sur la respiration du muscle pendant sa survie. — *Th. Guilloz* 195
Séance du 29 janvier 1900 :
Contribution à l'étude du rayonnement du radium. — *H. Becquerel* 235
Sur l'existence des dérivées secondes du potentiel. — *H. Petrini* 237
Lumière polarisée émise par un tube Geissler soumis à l'action du champ magnétique. — *R. Dongier* 238
Période d'établissement de l'étincelle électrique. Sa durée totale. — *H. Abraham* et *J. Lemoine* 238
Action du cuivre sur l'acétylène. Formation

Digitized by Google

d'un hydrocarbure très condensé. — *Paul Sabatier* et *J. Sender ns* 239
Sur un nouveau procédé d'extraction du caoutchouc contenu dans les écorces de diverses plantes et notamment des landolfia. — *A. Arnaud* et *A. Verneuil* 240

Séance du 5 février 1900 :

Sur les masses vectorielles de discontinuité. — *A. Broca* 270
Rayons X et décharge : généralisation de la notion de rayons cathodiques. — *G. Sagnac* 270
Contribution à l'étude des stratifications. — *H. Pellat* 271
Sur la cristallisation métallique par transport électrique de certains métaux dans l'eau distillée. — *Th. Tommasina* 272
Sur la production de rayons X secondaires par le corps humain et sur un point important de la technique radiographique. — *Th. Guilloz* 273

Séance du 12 février 1900 :

Sur la dispersion du rayonnement du radium dans un champ magnétique. — *H. Becquerel* 314
Comparaison des diverses formes de l'interrupteur Wehnelt et de l'interrupteur Foucault. *A. Turpain*. 314
Sur les courants thermo-magnétiques. — *G. Moreau* 315

Séance du 26 février 1900 :

Sur l'interprétation de l'effet thermo-magnétique dans la théorie de Voigt. — *G. Moreau*. 395
Remarque relative à une note récente de M. Th. Tommasina sur la cristallisation métallique par transport électrique de certains métaux dans l'eau distillée. — *D. Tommasi* 397
Action des courants de haute fréquence et de haute tension sur la tuberculose pulmonaire chronique. — *E. Doumer* 397
Disparition instantanée de la polarisation rotatoire magnétique. — *H. Abraham* et *J. Lemoine*. 360
Rapport entre la variation d'excitation des nerfs et la variation de densité des courants excitateurs à différents potentiels. — *Stéphane Leduc* 360

Séance du 5 mars 1900 :

Sur la charge électrique des rayons déviables du radium. — *M.* et *Mme Curie* 400
Dissymétrie dans l'émission polarisée d'un tube de Geissler soumis à l'action d'un champ magnétique. — *R. Dongier* 474
Sur la préparation au four électrique des phosphures de fer, de nickel, de cobalt et de chrome. — *G. Maronneau* 474

Séance du 12 mars 1900 :

Sur les moteurs à gaz à explosion. — *L. Marchis*. 474
Sur l'étude expérimentale de l'excitateur de Herz. — *R Swyngedauw* 475
Sur la capacité des conducteurs symétriques soumis à des tensions polyphasées — *Ch. Eug. Guye* 476
Sur une remarque de M. D. Tommasi. — *Th. Tommasina*. 477
Sur la formation électrolytique du chlorate de potassium. — *A. Brochet* 477
Influence anodique sur la conductibilité nerveuse chez l'homme. — *S. Leduc* 478

Société française de physique. — Séance du 5 janv. 1900 :

Essais de télégraphie sans fils. — *Tissot*. . . 80

Séance du 16 février 1900 :

Recherches théoriques sur les déformations électriques des diélectriques solides isotropes. — *Sacerdote*. 317
Dispersion du rayonnement du radium dans un champ magnétique. — *H. Becquerel*. 317

Séance du 2 mars 1900 :

Sur la loi élémentaire des actions électromagnétiques et de l'induction unipolaire. — *C. Raveau* 397
Sur les rayons du polonium et du radium. — *M.* et *Mme P. Curie* 399
Les rayons du radium transportent de l'électricité négative. — *M. P. Curie* 400

Séance du 17 mars 1900 :

A propos de l'induction unipolaire. — *Crémieu*. 479
Sur la décharge des corps électrisés et la formation de l'ozone. — *Villard*. 479
Réunion de Pâques 1900. cxxx

Société de physique de Londres. — Séance du 26 janvier 1900 ;

Quelques remarques sur l'emploi du fil de garde de Price dans les essais d'isolement. *Ayrton* et *Mather* 276
Méthode d'essai des câbles sous tresses et autres câbles isolés. — *Appleyard* 276
Réflexion et transmission des ondes électriques le long des fils. — *E. Barton* et *P. Lownds*. 276

Séance du 9 février 1900 :

Controverse concernant la force électromotrice de Volta. — *O. Lodge*. 318

Séance du 9 mars 1900 :

Sur l'amortissement des aiguilles de galvanomètre. — *Salomon*. 480
Distribution des molécules gazeuses dans un champ électrique. — *G.-W Walker* . 480

Société physico-chimique russe :

Sur le courant thermo-électrique dans un circuit formé par un métal unique. *B. Rosing* 195
Sur une propriété des lignes de flux du courant électrique dans un milieu hétérogène. — *D.-D. Chwolson* 195
Sur la transmission de l'électricité par l'air à haute température. — *M. Khessin*. . . . 196
Les actions ponderomotrices d'un tube de Crookes à rayons X et l'aspect de son changement d'action. — *N. Mychkine* . . 196

Société internationale des électriciens.

Séance du mercredi 10 janvier 1900 :

Transmission de force motrice à grandes dis-

Digitized by Google

tances au moyen du courant continu, système Thury. — *H. Cuénod* et *Thury*. . . 115

Séance du mercredi 7 février 1900 :

Sur les lampes à arc sans rhéostat. — *Bochet*. 273

Coupe-circuits et interrupteurs pour hautes tensions. — *Vedovelli* 275

Séance du mercredi 7 mars 1900 :

Coupe-circuits, commutateurs, raccords et douilles pour lampes à incandescence. — *Zetter* 439

Tramway électrique de la porte Maillot à Suresne, système Védovelli. — *X. Gosselin* 440

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE.

Séance du vendredi 26 janvier 1900 :

L'acétylène et ses applications. L'acétylène dissous. — *Janet* 197

ASSOCIATION MONTEFIORE.

Séance du 30 juillet 1899 :

Exposé des divers systèmes destinés à éviter le danger d'un contact entre les fils du télégraphe et du téléphone et ceux du trôlet. — *A. Mœns* 39

Éclairage électrique des trains. — *G. L'Hoest*. 39

Mesure des grandeurs électriques dans les circuits à courants alternatifs. — *O. de Bast* 40

Séance du 8 octobre 1899 :

Sur la protection des lignes téléphoniques et télégraphiques contre les dangers de contact avec les lignes industrielles. — *L'Hoest*. 118

Mesure de grandeurs électriques dans les circuits à courants alternatifs. — *Omer de Bast* 120

NORTHWESTERN ELECTRICAL ASSOCIATION. — Réunion annuelle des 17 et 18 janv. 1900 :

Sur l'utilisation des stations génératrices d'électricité comme stations centrales de chauffage. — *W.-H. Schott* 319

Essais de lampes à incandescence. — *G.-D. Shepardson* 320

Remarques sur l'installation et l'exploitation des réseaux de distribution. — *Doherty*. . 277

Récent développement de l'emploi des lampes à arc enfermé à courant alternatif. — *R. Fleming*. 278

Sur les économies possibles dans les stations centrales. — *H.-W. Frund* 280

Comparaison des divers types de moteurs de stations centrales. — *A.-W. Richter*. . . 280

ASSOCIATION AMICALE DES INGÉNIEURS ÉLECTRICIENS :

Séance du 26 décembre 1899 II

Séance du 30 janvier 1900 CII

Séance du 28 février 1900 CXIX

SOCIÉTÉ AMICALE DES INGÉNIEURS SORTANT DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ. — Assemblée générale de janvier XXVI

SYNDICAT PROFESSIONNEL DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES :

Séance du 12 décembre 1899 XIV

Assemblée générale du 6 janvier 1900. . . . LXII

Séance du 13 février 1900. CXVIII

ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ. — Concours d'admission . . . . . LXXIV, LXXXVI

EXPOSITION UNIVERSELLE :

Le Palais de l'Électricité et le Château d'Eau. — *E. Nelson-Uhry*. 281

Éclairage électrique ; certificats descriptifs des objets exposés ; loi sur la protection de la propriété industrielle CXXX

Bibliographie.

Annuaire du bureau des longitudes pour 1900 XXXVI

Essai sur les concessions d'éclairage et notamment sur la concurrence électrique. — *Jean Cruveilhier* XXXVI

Constructionstafeln für den Dynamobau. — *E. Arnold* LIX

Premiers principes d'électricité industrielle. — *Paul Janet* LX

Machines à vapeur et machines thermiques diverses. — *J. Dejust*. XCIX

Problèmes sur l'électricité. — *Robert Weber*. . . C

Leçons sur l'électricité. — *Eric Gérard*. . . . CXXXIX

Tramways et automobiles. — *E. Aucamus* et *L. Galine*. CXL

American Telephon Practice. — *Kempster.-B.* — *Miller* CXL

Littérature des périodiques. . . . XXX, LXXVIII, CXXXII

Listes des brevets d'invention. . . . . LII, CX, CLIV

Digitized by Google

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

A

AALBORG.— (Voir *Wright*). 335
ABRAHAM (H.) et LEMOINE (J.). — Disparition instantanée de la polarisation rotatoire magnétique 360
Période d'établissement de l'étincelle électrique. Sa durée totale 238
ADAMS (A. D.). — Génératrices polymorphiques. . 347
ALLGEMEINE ELEKTRICITÆTS GESELLSCHAFT.— Lampe à incandescence 211
Fer à souder électrique 458
ALLIS. — (Voir *Shaw.*) 462
APPLEYARD. — Méthode d'essai des câbles sous tresses et autres câbles isolés. 276
ARMAGNAT (H). — Appareils de mesures 370
Sur la théorie de la bobine d'induction. . . 121
ARMSTRONG (C.-G.) et NEEL (W.-D.). — Ozoneur. . 426
ARNAUD (A.) et VERNEUIL (A.). — Sur un nouveau procédé d'extraction du caoutchouc contenu dans les écorces de certaines plantes et notamment des Landolfia. 240
ARNO (RICCARDO). — Méthodes et appareils de mesures pour systèmes triphasés 379
ARNOLD. — Sur la chute de tension dans les alternateurs 306
ASHWORTH (J.-R.). — Méthode pour construire des aimants indépendants des variations de température ; expérience sur les coefficients de température anormaux ou négatifs dans les aimants 439
AULDJO (L.-C.). — Nouveau dispositif économique pour le chauffage des chaudières 97
AYRTON et MATHER. — Quelques remarques sur l'emploi du fil de garde de Price dans les essais d'isolement. 276

B

BAINVILLE (A.) — Accumulateurs pour automobiles électriques. Le concours international de l'Automobile-Club. . . . 130, 171, 289 et 336
BARKER (J.-H.). — Enregistreur. 378
BARTON (E.) et LOWNDS (L.). — Réflexion et transmission des ondes électriques le long des fils 276
BAST (OMER DE). — Mesure des grandeurs électriques dans les circuits à courants alternatifs 40, 120
BATTELLI (F.). — (Voir *J.-L. Prévost*) 38
BAUER (P.). — Station centrale de Bonn CIV
BECQUEREL (H.). — Dispersion du rayonnement du radium dans un champ magnétique . . . 317
Sur la dispersion du rayonnement du radium dans un champ magnétique 314
Sur le rayonnement des corps radio-actifs . 36
Contribution à l'étude du rayonnement du radium 235
BEHREND (B.-V.).— Sur la chute de tension dans les alternateurs 303
BELLENS (CH.). — Quelques expériences pour l'étude de la circulation de l'eau dans les chaudières 27
BELLOC (L.).— L'électrosidérurgie. 461
BENISCHKE (Gustave). — Sur la marche en parallèle des alternateurs 343
Appareil pour mesurer les isolements en marche des installations en courant alternatif 191
BERG. — Sur les rayons cathodiques et les rayons-canal 68
BERLANI. — (Voir *Corniani*). 465
BERTHIER (A.). — Sur les divers modes d'allumage électrique des moteurs à essence 465
Allumage électrique des becs de gaz 182
BLACKBURN (A.), SPENCE (W.) et MOORE (E.).— Système de distribution à courant continu. . 16
BLATHY (O.-T.). — Transformateur. 167
BLONDEL (A.).— Législation étrangère des distributions d'énergie . . . . LXXXVIII, CVI, CXX, CXLII
Sur l'induction unipolaire. 479
BLONDIN (J.). — Accumulateurs pour automobiles électriques. — Le concours international de l'Automobile-Club. 57
BLOT-FULMEN. — Accumulateurs pour automobiles électriques 171
BOCQUENTIN. — Dynamo 453
BORCHERS. — Four électrique. 464
BORCHERS (W.). — Les procédés électrolytiques exploités industriellement. 231

Digitized by Google

Bos (Ch.) et Laffargue (J.). — La distribution de l'énergie électrique en Allemagne. iv
Boult. — Connecteur de rails. 29
Bowie (J.). — Mesure du facteur de puissance . . 500
Braun (Voir *Hartmann*.) 77
Braun (Rudolf). — Du frottement dans la marche à vide des moteurs d'induction. 64
Broca (André). — Sur les masses vectorielles de discontinuité. 270
Champs de vecteur et champs de force. Action réciproque des masses scalaires et vectorielles. Energie localisée 152
Bochet. — Sur les lampes à arc sans rhéostat . . 273
Brochet (A.).— Sur la formation électrolytique du chlorate de potassium 477
Sur l'électrolyse du chlorure de potassium. 159
Bromilow. — Séparateur magnétique pour ateliers de construction 177
Bruhnes (Bernard). — Une méthode de mesure de la vitesse des rayons Röntgen. 157
Burke. — Porte-charbon 450
Burns (W.-G.). — (Voir *Tibbats*.) 384

C

Carlson (B.). — Influence de la pulvérisation des matières premières sur la production du carbure de calcium. 111
Carvallo (E.). — Sur la nature de la lumière blanche des rayons X 158
Chalandre, Colas et Gérard. — Electrolyseur pour alcalis et chlore 427
Chevallier (H.). — Sur les modifications permanentes des fils métalliques et la variation de leur résistance électrique. 153
Chevillard (P.). — Séparateur magnétique J. Bromilow pour ateliers de construction . . . 177
Chevrier (G.). — Sur la conduite des alternateurs couplés en parallèle aux bornes d'un réseau à potentiel constant 401
Christy (L.-B.).— Procédé pour l'électro-déposition de l'or et de l'argent des solutions cyanurées étendues 432
Chwolson (D.-D.). — Sur une propriété des lignes de flux du courant électrique dans un milieu hétérogène 195
Coleman de Kando. — Épanouissements polaires. 449
Colas. — (Voir *Chalandre*.) 427
Compagnie des soudières électrolytiques. — Accumulateur 289
Compagnie Thomson-Houston (Green). — Dynamos pour distribution par arc en deux séries. 19
Système de distribution pour arcs en série . 17
Compagnie Westinghouse (Lamme). — Système de distribution par courants alternatifs . . . 15
Conant (R.-W.). — Prix de revient de l'énergie électrique au tableau de distribution dans les stations génératrices de tramways . . 256
Appareils pour essais de la résistance des joints de rails. 30
Coodlige (W.-D.). — Recherches sur les pouvoirs inducteurs spécifiques 34
Corbino (O.). — (Voir *D. Macaluso*). 151
Corniani et Berlani. — Four électrique 465
Courant (Docteur). — Bains d'électro-déposition cyanurés 429
Coux (H. de la). — Eaux corrosives et incrusto-corrosives dans les générateurs de vapeur 98
Cowper-Coles (Sh.). — Quelques notes sur l'électro-galvanisation. 312
Electro-déposition du cuivre de solutions alcalines 312
Procédé centrifuge pour la fabrication électrolytique des tubes de cuivre. 432
Pouvoirs réflecteurs de quelques dépôts métalliques électrolytiques 233
Crémieu. — A propos de l'induction unipolaire. . 479
Cuénod (H.) et Thury. — Transmission de force motrice à grandes distances au moyen du courant continu, système Thury. 115
Curie (M. et Mme). — Sur les rayons du polonium et du radium 399
Curie (P.). — Les rayons du radium transportent de l'électricité négative. 400
Action du champ magnétique sur les rayons de Becquerel. Rayons déviés et rayons non déviés. 113

D

Dan Martini. — Ozoneur. 425
Davies. — (Voir *Patterson*.) 450
Deissler. — Procédé pour la préparation électrolytique des persulfates et permanganates alcalins. 230
Délézinier. — Sur un phénomène particulier à l'emploi des courants triphasés en radiographie 194
De l'emploi des courants triphasés en radiographie. 73
Delmas. — L'usine génératrice et les usines électrochimiques du Niagara lxix
Le métropolitain de Boston. xl
Delmas (Marcel). — Le métropolitain électrique de New-York. viii
Ditte (A.). — Sur les propriétés et les applications de l'aluminium. 391

Digitized by Google

Doherty. — Remarques sur l'installation et l'exploitation des réseaux de distribution. . . . 277
Dongier (R.). — Lumière polarisée émise par un tube Geissler soumis à l'action d'un champ magnétique 238
Dissymétrie dans l'émission polarisée d'un tube de Geissler soumis à l'action d'un champ magnétique. 474
Doumer (E.). — Action des courants de haute fréquence et de haute tension sur la tuberculose pulmonaire chronique 397
Du Bois (H.) et Liebknecht (O.). — Susceptibilité moléculaire des sels paramagnétiques des terres rares. 472
Duncan. — Gouvernail propulseur. 250

E

Earle (H.-A.). — Bobine inductrice de dynamo. . 453
Ebert (H.). — Loi de formation de la région cathodique obscure de Hittorf 72
Phénomène des lueurs dans les décharges par courants alternatifs de haute fréquence 73
Edison-Brown. — Connecteur de rails de tramways. 138
Electric Reduction Co. — Four électrique à résistance de chauffage pour obtenir la fusion et les réactions chimiques. 459
Elphinstone et Heap. — Electrodynamomètre et transformateurs 375
Ewers (Paul). — Sur les rayons-canal et les rayons cathodiques 70

F

Feldmann (Cl.) et Herzog (J.). — Répartition des courants dans les réseaux alternatifs. . . 222
Fellner. — (Voir *Urbanitz Ky*.) 463
Ferrié (G.). — Le poste de télégraphie sans fil de Wimereux. 507
Fessenden. — Lampe à incandescence à filament électrolytique 142
Fleming (R.). — Récent développement de l'emploi des lampes à arc enfermé à courant alternatif 278
Fœrster (F.). — Sur la préparation électrolytique de l'acide perchlorique et de ses sels . . 390
Fœrster et Gunther (O.). — Recherches sur les circonstances de formation des dépôts spongieux de zinc électrolytique. 148
Fouché. — Fer à souder électrique 458
Fox (Douglas). — Les destructeurs d'ordures de l'usine de Shoreditch. 11
Freeman. — Procédé pour la fabrication continue du carbure de calcium 31
Frénot (E.). — Procédé pour la préparation électrolytique du sulfate de cuivre pur et du cuivre. 231
Frund (H.-W.). — Sur les économies possibles dans les stations centrales 280
Fry. — (Voir *Steinhart*) 311
Fulmen. — Accumulateur pour automobiles électriques 172

G

Garraud (J.). — Détermination rapide et sur place de la position d'une perte dans un câble terrestre, méthode de M. Barbarat . . . 139
Gebhard (L.). — Sur les batteries-tampons. . . . 51
General Electric Co. — Alternateur compound . 493
Gérard. — (Voir *Chalandre*.) 427
Giles (Georges). — Notes sur le calcul des moteurs à courants polyphasés. 441
Girgensohn (H.). — Sur les avantages de l'emploi des génératrices à courants diphasés dans les stations de distribution d'éclairage. . 387
Goisot (G.). — Fers à souder électriques 456
Gooch (F.-A.). — Procédé pour la production de l'aluminium 145
Goodwin et de Kay Thompson. — Pouvoir diélectrique et conductibilité de l'ammoniaque liquide 314
Görner (J.). — Sur le moyen d'obtenir de grands décalages de phase et leur application à divers appareils de mesure. 77
Gosselin (X.). — Tramway électrique de la porte Maillot à Suresnes, système Vedovelli. . 440
Green (Ch.). — Système de distribution pour arcs en série. 17
Dynamos pour distribution par arc en deux séries 19
Guichard (Marcel). — Sur un nouveau sulfure de molybdène cristallé 160
Guilbert (C.-F.). — Machines dynamo-électriques. Moteurs à courant continu . . . . 250 et 449
Représentation des fonctions périodiques complexes à l'aide des imaginaires. . . . 405
Systèmes de distribution de l'énergie électrique 13
Expression de la puissance avec la méthode des imaginaires de M. Steinmetz. 361
Machines dynamo-électriques. Transformateurs 166
Guillaume (J.). — Sur l'emploi de l'aluminium pour les canalisations électriques. 321
Les agrandissements de l'usine électrique de la ville de Zurich 292
Guilloz (Th.). — Sur la production de rayons X secondaires par le corps humain et sur un point important de la technique radiographique 273

Digitized by Google

Action du courant continu sur la respiration du muscle pendant sa survie 195
Günther (O.). — (Voir *Færster.*) 148
Guye (Ch.-E.). — Calcul graphique d'une ligne souterraine triphasée concentrique. . . . 83
Sur la capacité des conducteurs symétriques soumis à des tensions polyphasées. . . . 476

H

Halske. — (Voir *Siemens.*). . . 452, 76, 211, 353, 377
(Voir *Siemens* et *Halske.*) 166
Hanappe (S.). — Application de la théorie graphique à l'étude des principales canalisations à courants alternatifs et polyphasés. 241 et 283
Hargreaves. — (Voir *Parent.*) 144
Harrison. — Pile 414
Hartmann et Braun. — Dispositif pour la compensation du décalage de phase dans les instruments à courant alternatif 77
Hartnell (M.-W.). — Procédé pour la ventilation des moteurs cuirassés 252
Hathaway. — Accumulateur pour automobiles électriques 339
Headland (H.-N.). — (Voir *Robson (J.-E.)* 251
Heap. — (Voir *Elphinstone.*) 375
Heimel (F.). — Accumulateurs Titan. 290
Helios. — Frein à courants de Foucault pour moteurs de tramways 354
Procédé d'excitation magnétique. 492
Procédé de distribution simultanée de courant alternatif et de courant continu . . . 222
Henderson (J.-H.).— Fabrication et usages de l'aluminium 147
Herzog (J.). — (Voir *Feldmann (Cl.).* 222
Hirst. — Filaments pour lampes à incandescence. 210
Holland (J.-T.) et Laurie (A.-P.). — Electrolyseur pour alcalis et chlore 427
Diaphragme poreux pour électrolyse. . . . 31
Holmes. — Dispositif de décalage des balais . . . 454
Hummel (G.). — Compteur 270
Hutchinson (T.). — Sur la mise à la terre des circuits secondaires et les risques d'incendie 100

J

Janet. — L'acétylène et ses applications. L'acétylène dissous. 197
Jœger (W.) et Diesselhorst (H.). — Conductibilité colorifique, conductibilité électrique, chaleur spécifique et pouvoir thermo-électrique de quelques métaux 355
Jumau (L.). — Sur les batteries-tampons 51

K

Kaufmann (W.). — Diffusion des rayons cathodiques dans différents gaz 357
Kay Thompson (de). — (Voir *Goodwin.*) 314
Kermode. — Appareil pour le chauffage des chaudières à vapeur 26
Khessin (M.). — Sur la transmission de l'électricité par l'air à haute température 196
Köhn (Moritz).— Méthode graphique pour la détermination du travail d'une batterie-tampon 415
Königsberger (J.). — Susceptibilité magnétique des combinaisons 471
Krizik (F.). — Installation électrique des block-systèmes avec action directe du courant électrique sur le mécanisme. 421

L

Laffargue (J.). — (Voir *Ch. Bos.*). iv
Lagarde. — Accumulateur pour automobiles électriques 336
Lamme. — Système de distribution à courants alternatifs. 13
Lamotte (M.). — Cohéreurs ou radio-conducteurs. 481
Laurie (A.-P.). — (Voir *Holland.*) 31, 427
Laval (de). — Four électrique 462
Lecher (E.). — Sur un paradoxe expérimental et théorique en électricité et sur l'induction unipolaire. 161
Leduc (Stéphane). — Rapport entre la variation d'excitation des nerfs et la variation de densité des courants excitateurs à différents potentiels. 360
Influence anodique sur la conductibilité nerveuse chez l'homme 478
Lehfeldt (R.-A.). — Sur la théorie de la tension de dissolution électrolytique. 395
Lehmann-Richter. — Recherches spectrophotométriques sur l'arc continu 141
Lehner (Karl).— Voltmètre thermique 372
Lemoine (J.). — (Voir *Abraham H.*). 238, 360
Levavasseur. — Transformateur. 168
L'hoest. — Sur la protection des lignes télégraphiques et téléphoniques contre les dangers de contact avec les lignes industrielles 118
Eclairage électrique des trains 39
Liebenow. — Ampère-heure-mètre 75
Liebknecht (O.) et Wills (A.-P.). — Susceptibilité moléculaire des sels paramagnétiques du groupe du fer 471
Liebknecht (O.). — (Voir *H. Du Bois.*) 472
Lodge (O.). — Controverse concernant la force électromotrice de Volta 318
Lœb (Walther).— Sur la préparation électrolytique des matières colorantes semblables à celles de l'induline 471
Löwe (K.-F.).— Recherches sur la dispersion élec-

Digitized by Google

trique de quelques acides organiques et éthers et de dix variétés de verre . . . 31
Lowenberg (L.). — (Voir *Tibbats.*) 384
Lownds (L.). — (Voir *Barton E.*) 276
Lundell (R.). — Moteurs cuirassés tétrapolaires . 253
Lyte. — Procédé électrolytique pour la déshydratation du chlorure de zinc. 31

M

Macaluso (D.) et Corbino (O.). — Sur la relation entre le phénomène de Zeeman et la rotation magnétique anormale du plan de polarisation 151
Mac Gregor. — Electrolyse de solutions aqueuses et de deux sels ayant un ion commun . . 234
Maïer (M.). — Expériences de diffraction et détermination de la longueur d'onde des rayons de Roentgen. 359
Maquay (S.-W.) et Vanderpump (P.-E.). — Moteur avec engrenages réducteurs. 255
Marchis (L.). — Sur les moteurs à gaz à explosion 474
Mardsen (C.-H.). — (Voir *Robson J.-T.*) 251
Marino. — Bains d'électro-déposition à la glycérine 311
Maronneau (G.). — Sur la préparation au four électrique des phosphures de fer, de nickel, de cobalt et de chrome 474
Marx (E.).— Dispersion dans le spectre électrique 32
Massin. — Conducteurs téléphoniques en aluminium 140
Mather. — (Voir *Ayrton.*) 276
Maurain (Ch.). — Relations entre l'aimantation et les autres phénomènes 201
Maxim Hiram. — Pompe mécanique à faire le vide 206
May. — Bornes pour la vérification des compteurs 190
Merrill (J.-F.). — Influence du diélectrique environnant un fil de cuivre sur sa conductibilité. 314
Michalowsky (T. de). — Accumulateur à sesquioxyde de nickel 415
Michel, Wilhelm et Richard.— Electrolyseur pour alcalis et chlore 428
Moeller (J.-F.-L.) et Street (E.-A.-G.).— Procédé pour la préparation électrolytique du chrome 430
Moens (A.). — Exposé des divers systèmes destinés à éviter le danger d'un contact entre les fils de télégraphe et de téléphone et ceux du trôlet 39
Moissan (H.).— Sur les applications de l'aluminium 391
Moore (E.). — (Voir *Spence.*) 16
Moreau (G.).— Sur l'interprétation de l'effet thermomagnétique dans la théorie de Voigt . 395
Moreau (G.). — Sur les courants thermomagnétiques 315
Sur le phénomène de Hall et les courants thermomagnétiques 154
Morris et Salom. — Fiacres électriques de New-York 41
Moureaux (Th.). — Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1900. . 112
Muller (Erich). — Recherches sur la préparation électrolytique des chlorates, bromates et iodates alcalins 308
Dispositif de mise hors-circuit des transformateurs à vide. 108
Mychkine (N.). — Les actions pondéro motrices d'un tube de Crookes à rayons X, et l'aspect de son changement d'action 196

N

Neel (W.-D.). — (Voir *Armstrong.*) 426
Neesen (F.). — Fonctionnement des parafoudres. 226
Nelson-Uhry (E.). — Exposition universelle. Le palais de l'Electricité et le Château-d'Eau. 281

O

Orrechioni. — Vigie sous-marine cviii
Ossanna (Giovanni). — Nouveaux enroulements triphasés 265
Owens (R.-B.). — Radiation du thorium. 233

P

Parent, Hargreaves et Stubbs. — Anodes 144
Parsons (M.). — Essais d'un turbo-alternateur de 500 kilowatts de la station de Cambridge. 99
Pasquini (E.). — Sur la double réfraction des rayons de force électrique dans les cristaux 35
Patterson, Davies et Whate. — Porte-balais. . . 450
Pellat (H.). — Contribution à l'étude des stratifications 271
Pellissier (G.). — Les fiacres électriques de New-York. 41, 88
Le développement de la traction électrique en 1899. 126
Pérot (A.). — Sur l'énergie des courants. 5
Pescetto. — Accumulateurs pour automobiles électriques 135
Petrini (Henrick). — Sur l'existence des dérivées secondes du potentiel 237
Pétrowsky (A.-A.). — Sur la mesure de la capacité dans un milieu hétérogène 193
Sur la distribution du potentiel dans un milieu hétérogène 152
Pick (E.). — La station électrique de Promontor. 262
Piérard (Em.). — Les effets du givre sur les fils téléphoniques 516

Digitized by Google

Pollak. — Accumulateurs pour automobiles électriques 132
Pope. — Accumulateur 292
Accumulateur pour automobiles électriques. 176
Poppenburg. — Pile 414
Potier (A.). — Sur l'énergie des courants 81
Prévost (J.-L.) et Battelli (F.). — Sur quelques effets des décharges électriques sur le cœur des mammifères 38

Q

Quantin. — Essais d'isolateurs en verre pour lignes industrielles. 389
Queinnec (J.). — De l'emploi de la poix dans les raccords des câbles téléphoniques et télégraphiques 515
Quick (R.-W.). — Convertisseurs de phase. . . . 494

R

Raveau (C.). — Les progrès de l'électricité en 1899. 21
Sur la loi élémentaire des actions électromagnétiques et l'induction unipolaire. . . 161
Sur la loi élémentaire des actions électromagnétiques et de l'induction unipolaire. 397
Reyval (J.). — Le développement des applications de l'électricité en 1899. 212
Le développement des applications de l'électricité en 1899, génération et distribution de l'énergie électrique 92
Rhodin (J.-A.). — Electrolyseur pour sulfates alcalins. 109
Rice. — Lampe à incandescence. 210
Richard. — (Voir *Michel.*) 428
Richard (G.). — Les lampes à incandescence. . . 206
Applications mécaniques de l'électricité. . . 328
Richter (A.-W.). — Comparaison des divers types de moteurs de stations centrales. 280
Riecke (E.). — Distribution de l'électricité libre à la surface des tubes de Crookes. 438
Righi (A.). — Sur l'absorption de la lumière dans un gaz placé dans un champ magnétique. 150
Roberts (I.-L.). — Anodes en charbon. 426
Robertson. — Essais d'un moteur à gaz Westinghouse de 125 chevaux. xxxviii
Sur la fabrication électrolytique de l'aluminium. 146
Robson (J.-T.), Mardsen (C.-H.) et Headland (H.-N). — Moteur double à induit et inducteurs mobiles. 251
Rosing (B.). — Sur le courant thermo-électrique dans un circuit formé par un métal unique. 195
Rothert (Alex.). — Recherches sur la courbe de court-circuit des alternateurs. 296
Rouillard. — Grappins pour le dragage des câbles sous-marins. 67
Rupprecht. — (Voir *Wuste.*) 341
Russell (A.). — Théorie du facteur de puissance. 102
Comment les courants des condensateurs et des bobines de réaction varient avec la forme de l'onde de la force électromotrice appliquée à leurs bornes. 504
Courant produit dans un circuit inducteur par une différence de potentiel de forme périodique parabolique. 107

S

Sabatier (P.) et Senderens (J.-B.). — Action du cuivre sur l'acétylène ; formation d'un hydrocarbure très condensé, le cuprène. . 239
Sabouret. — Chariot transbordeur électrique sans fosse, de la Compagnie d'Orléans. . . . L
Sacerdote. — Recherches théoriques sur les déformations électriques des diélectriques solides isotropes 317
Sagnac (G.). — Rayons X et décharge : généralisation de la notion de rayons cathodiques. 270
Sahulka (J.). — Sur l'étalonnage des compteurs électriques 184
Solom. — (Voir *Morris.*) 41
Salomon. — Sur l'amortissement des aiguilles de galvanomètre 480
Schindler-Jenny (F.-W.). — Interrupteur automatique pour appareils de cuisine électrique. 459
(Voir *Stolz.*) 458
Schnaus (Ch.-J.). — Appareil pour essais de la résistance des joints de rails 30
Schott (W.-H.). — Sur l'utilisation des stations génératrices d'électricité comme stations centrales de chauffage 39
Schoop (U.). — Sur la batterie-tampon des tramways de Reichenberg (Autriche-Hongrie). 418
Schuckert (E.-A.-G.). — Commutateur à distance 181
Scott. — Porte-balais 454
Perfectionnements aux dynamos. 455
Système de distribution à courants alternatifs. 13
Senderens (J.-B.). — (Voir *P. Sabatier.*) 239
Shaw et Allis. — Four électrique 462
Shepardson (G.-D.). — Essais de lampes à incandescence 320
Siemens et Halske. — Dispositif pour voitures à trôlet et à accumulateurs 353
Dispositif pour la mesure de l'intensité des courants triphasés 377
Dispositif pour obtenir un décalage de phase de 90° dans les appareils de mesure à champ tournant 76

Digitized by Google

Montures pour lampes à incandescence. . . 211
Régulateur de tension pour réseaux à courants triphasés. 166
Procédé pour la ventilation des machines à courant continu 452
Slodowska-Curie (Mme). — Sur la pénétration des rayons Becquerel non déviables par le champ magnétique 114
Smith (Jervis). — Effet de la chaleur sur la décharge d'une bobine d'induction dont le circuit primaire est muni d'un interrupteur électrolytique 394
Société des accumulateurs Phœnix. — Accumulateur pour automobiles électriques 174
Société pour le travail électrique des métaux. — Accumulateurs pour automobiles électriques 130
Société Tudor. — Accumulateurs pour automobiles électriques 134
Solignac. — Avant-train électrique L
Solvay. — Electrolyseur à cathode mercurielle pour l'électrolyse continue des sels alcalins. 427
Spence (W.). — (Voir *Blackburn*.) 16
Stassano. — Four électrique. 46
Steele. — (Voir *Veritys* et *Steele*.) 169
Stefanini (A.). — Sur la distribution de l'induction magnétique autour d'un noyau de fer . . 472
Steinhart, Vogel et Fry. — Procédé pour l'extraction électrolytique du zinc de son oxyde .
Stock (Alfred). — Sur un nouveau procédé de dosage de l'aluminium. 194
Stolz et Schindler-Jenny. — Fer à souder électrique 458
Störmer (F.). — Electrolyseur pour alcalis et chlore. 429
Street. — Procédé pour la préparation électrolytique de l'oxyde de chrome. 432
(Voir *Morller*.) 430
Stubbs. — (Voir *Parent*.) 144
Swan. — Appareil pour fabriquer les lampes à incandescence 209
Swyngedauw (R.). — Sur l'étude expérimentale de l'excitateur de Hertz. 475
Szarvasy (E.-C.). — Sur la préparation électrolytique des matières colorantes dérivées de l'aniline 469
Szuk (G.). — La station électrique de Trieste. . . I

T

Tapley. — Sur la commande des presses d'imprimerie par l'électricité 331
Taussig. — Four électrique. 463
Temple (R.-C.). — Projet de télégraphie sans fil entre l'Inde et Sumatra. XI
Thomsen (H.-P.-J.). — Commutateur tournant pour grouper en série ou en parallèle les éléments d'une batterie d'accumulateurs. . . 170
Thomson (E.). — Galvanomètre double. 371
Thomson (E.). — Électromètre. 374
Tibbats (R.-B.) Lowenberg (L.) et Burns (W.-G.). — Sur la résistance des balais de dynamos 384
Tissot. — Essais de télégraphie sans fils 80
Tommasi (D.). — Remarque relative à une note récente de M. Th. Tommasina sur la cristallisation métallique par transport électrique de certains métaux dans l'eau distillée . . 397
Tommasina (Thomas). — Sur la cristallisation métallique par transport électrique de certains métaux dans l'eau distillée. 272
Sur une remarque de M. D. Tommasi. . . 477
Tudor. — Accumulateur pour automobiles électriques 338
Turpain (A.). — Comparaison des diverses formes de l'interrupteur Wehnelt et de l'interrupteur Foucault 314

U

Urbanitzky et Fellner. — Four électrique. . . . 463

V

Vanderpump (P.-E.). — (Voir *Maquay S.-W*) . . 255
Védovelli. — Connecteur de rails de tramways. . 139
Coupe-circuits et interrupteurs pour hautes tensions 275
Veritys et Steele. — Transformateur 169
Dispositifs de sécurité pour réseau à trois fils 20
Verneuil (A.). — (Voir *A. Arnaud*.) 240
Vigouroux (E.). — Sur le siliciure de molybdène. 37
Villard (P.). — Sur la décharge des corps électrisés et la formation de l'ozone. . . . 155, 479
Vogel. — (Voir *Steinhart*) 311
Voigt (W.). — Remarques sur les intensités relatives des composantes dans l'effet Zeeman 151
Sur la théorie de l'influence d'un champ électrostatique sur les propriétés optiques des corps. 149
Voisey (A.-A.) et Wilson (R.-P.). — Dispositif pour le montage des électromètres . . . 372

W

Walker. — Dynamo. 451

Digitized by Google

Distribution des molécules gazeuses dans un champ électrique 480
Weiss. — Système électro-magnétique applicable aux instruments de mesure 269
Weston. — Wattmètre 375
Électromètre 373
Galvanomètre 370
Whate. — (Voir *Patterson,*) 450
Whiting. — Pompe électrique à incendie 334
Wikström. — Four électrique 463
Wilhelm. — (Voir *Michel.*) 428
Willach (O.). — Appareil pour block-système avec protection contre les trains inverses. 179
Willis (Edward). — Essais d'un groupe électrogène pour traction de 300 kilowatts . . . 28
Willows (R.-S.). — Sur la variation de la résistance de certains amalgames avec la température 394
Wills (A.-P.). — (Voir *Liebknecht O.*) 471
Wilson (R.-P.). — (Voir *Voisey.*) 372
Wilson (H.-W.) — Moteurs cuirassés 253
Wright et Aalborg. — Coupe-circuit automatique 335
Wuste et Ruppreght. — Accumulateur pour automobiles électriques 341

Y

Yarnold (R.-J.). — Ozoneur 110

Z

Zalesky (J.). — Quelques connecteurs de rails de tramways 137
Zelney (J.). — Courants de convection et chute de potentiel aux électrodes provoqués par les rayons X 359
Zetter. — Coupe-circuits, commutateurs, raccords et douilles pour lampes à incandescence ; coupe-circuits tripolaire pour moteurs d'ascenseurs électriques 439

Digitized by Google

Tome XXII — Samedi 6 Janvier 1900. — 7e Année. — N° 1.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

La reproduction des articles de L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE est interdite.

A. PÉROT. — Sur l'énergie des courants 5

C.-F. GUILBERT. — Système de distribution de l'énergie électrique :
Systèmes à courants alternatifs de C. Scott et de la Compagnie Westinghouse (Lamme). Système à courant continu Blackburn, Spence et Moore. Système pour arcs en série de la Compagnie Thomson-Houston (Green). Dispositif de sûreté de Veritys et Steele 13

C. RAVEAU. — Les progrès de l'électricité en 1899. 21

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

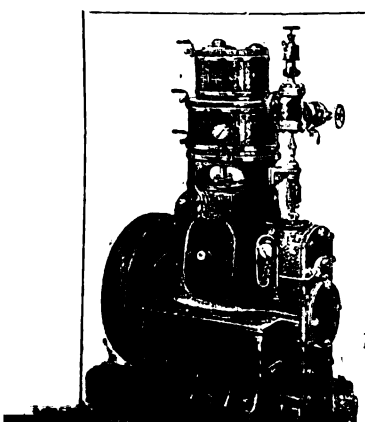
Génération de l'électricité. — Appareil Kermode pour le chauffage des chaudières au pétrole 26
Quelques expériences pour l'étude de la circulation de l'eau dans les chaudières, par Ch. Bellens . . . 27
Essais d'un groupe électrogène pour traction de 300 kw, par E.-J. Willis 28
Traction. — Tramways électriques de Boulogne 28
Connecteur de rails Boult. 29
Appareils pour essais de la résistance des joints de rails 30
Électrochimie. — Diaphragme poreux J.-T. Holland et A.-P. Laurie pour électrolyse. 30
Procédé Freeman pour la fabrication du carbure de calcium 31
Procédé électrolytique Lyte pour la déshydratation du chlorure de zinc 31
Ondes hertziennes. — Recherches sur la dispersion électrique de quelques acides organiques et éthers et de dix variétés de verre, par K.-F. Lowe. 31
Dispersion dans le spectre électrique, par F. Marx 32
Recherches sur les pouvoirs inducteurs spécifiques, par W.-D. Coolidge 34
Sur la double réfraction des rayons de force dans les cristaux, par E. Pasquini. 35

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

Académie des sciences. — Sur le rayonnement des corps radio-actifs, par H. Becquerel. 36
De l'emploi des courants triphasés en radiographie, par Delézinier 37
Sur le siliciure de molybdène, par E. Vigouroux 37
Sur quelques effets des décharges électriques sur le cœur des mammifères, par J.-L. Prévost et F. Batelli. 38
Association Montéfiore. — Exposé des divers systèmes destinés à éviter le danger d'un contact entre les fils de télégraphe et de téléphone et ceux du trôlet, par A. Moens. 39
Eclairage électrique des trains, par G. L'Hœst 39
Mesures des grandeurs électriques dans les circuits à courants alternatifs, par O. de Bast. 40

SUPPLÉMENT

Association amicale des Ingénieurs électriciens. — **Génération et distributipn :** Machine à vapeur de 150 chevaux pesant 600 kg; Les destructeurs d'ordures de l'usine de Shoreditch; La distribution de l'énergie électrique en Allemagne. — **Traction :** Le métropolitain électrique de New-York; Chemin de fer électrique napolitain; Informations — **Télégraphie :** Télégraphie sans fil entre l'Inde et Sumatra; Le télégraphe entre le Caire et le Cap. — **Eclairage :** Eclairage du pont du Niagara; Informations. — **Electrochimie :** Usine de raffinage électrolytique du cuivre d'Anaconda 11



MACHINES A VAPEUR A GRANDE VITESSE "B. L."

à double effet et à graissage automatique sous pression

BREVETÉ S. G. D. G. EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER

(Voir description dans notre numéro du 9 septembre 1899.)

Construction française de 1er ordre; ces machines sont un progrès pour toutes industries. — **Pas de contact métallique** des organes; marche absolument silencieuse. — **Usure rigoureusement nulle** après plusieurs années de marche. — **Rendement** mécanique exceptionnel. — **Consommation** de vapeur et d'huile **par cheval au frein et prix moindres** à puissance égale qu'avec toute autre machine. — Se construit simple, double, triple et quadruple expansion.

TÉLÉPHONE 2/3.86

Dynamos à vapeur à rendement maximum; attaque directe des ventilateurs pompe centrifuges, etc.

RÉFÉRENCES DE PREMIER ORDRE

Ateliers de construction BOULTE, LARBODIÈRE et Cie

Digitized by Google

NOUVELLES ET ÉCHOS

Ecole supérieure d'Electricité. — Quelques modifications ont été apportées cette année dans l'organisation de l'enseignement de cette école.

Tandis que jusqu'ici les licenciés ès sciences devaient posséder trois certificats d'études supérieures pour être dispensés du concours, ils peuvent maintenant obtenir cette faveur avec deux certificats seulement : celui de Physique générale et celui de Mécanique rationnelle. La dispense est étendue aux élèves médaillés des Ecoles d'Arts et Métiers ayant obtenu aux examens de sortie une moyenne au moins égale à 14 pour chacune des deux matières : Mécanique et Physique. Les élèves des écoles Centrale, des Mines, des Ponts et Chaussées, de l'Ecole Polytechnique continuent à jouir de la dispense, mais doivent accompagner leurs demandes de leurs notes de classement de sortie.

Au programme du concours d'entrée est ajouté le dessin industriel ; dans la mécanique appliquée est ajoutée l'étude des moteurs à gaz. Chacune des épreuves est affectée d'un coefficient pour le calcul du total des points. Certaines catégories de candidats bénéficient de 30 points.

Les frais d'études, tant pour les élèves réguliers que pour les auditeurs libres, sont doublés.

Voici d'ailleurs, reproduites *in extenso*, les parties modifiées du règlement de l'école.

ADMISSION

I. *Concours d'entrée.* — L'admission à l'Ecole supérieure d'Electricité, en qualité d'élève régulier, est prononcée à la suite d'un concours d'entrée qui a lieu tous les ans, dans la première quinzaine d'octobre. Les inscriptions sont reçues du 1er juillet au 1er octobre. Tout candidat, en s'inscrivant, doit faire connaître : 1° ses nom et prénoms ; date et lieu de naissance ; nationalité justifiée ; 2° son adresse ; 3° les études faites pendant les cinq dernières années ; 4° les diplômes possédés et titres divers.

II. *Dispenses de concours.* — Peuvent être dispensés du concours d'entrée, dans les limites des places disponibles, les anciens élèves diplômés des Ecoles suivantes : Centrale, Mines de Paris et de Saint-Etienne, Ponts et Chaussées ; les anciens élèves français de l'Ecole Polytechnique ; les licenciés ès sciences pourvus des deux certificats de Physique générale et de Mécanique rationnelle ; les élèves médaillés des Ecoles d'Arts et Métiers ayant obtenu aux examens de sortie, pour chacune des deux matières : Mécanique et Physique, une moyenne au moins égale à 14. Les demandes de dispenses doivent être accompagnées de pièces officielles justifiant les titres présentés, des notes de classement de sortie pour les élèves des Ecoles et, généralement, de tous les renseignements de nature à permettre au Conseil d'apprécier les titres des Candidats.

III. *Programme du concours d'entrée.* — Le programme du concours d'entrée est déterminé chaque année par le Conseil de perfectionnement de l'Ecole ; il comporte les matières suivantes :

Mathématiques,
Electricité ;
Mécanique appliquée ;
Physique générale ;
Chimie élémentaire ;
Dessin industriel.

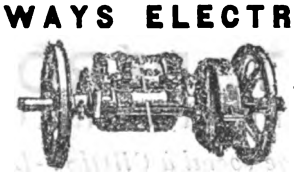
Les épreuves écrites, qui sont éliminatoires, consistent en :

1° Une composition sur l'Electricité générale (problèmes) ;
2° Un calcul logarithmique ;
3° Un croquis à main levée.

Les épreuves orales consistent en :

1° Une interrogation sur l'Electricité générale ;
2° Une interrogation sur les Mathématiques ;
3° Une interrogation sur la Mécanique appliquée ;
4° Une interrogation sur la Physique générale et sur la Chimie élémentaire ;
5° Un calcul à la règle.

Les coefficients de ces diverses épreuves sont ainsi fixés :

EXPLOITATION DES PROCÉDÉS ÉLECTRIQUES WALKER
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 600,000 FRANCS
RAPIDITÉ TRAMWAYS ELECTRIQUES ÉCONOMIE
MOTEURS MOTEURS MOTEURS MOTEURS
SUSPENSION SPÉCIALE

pour TRAMWAYS
pour METROPOLITAINS
pour APPAREILS de LEVAGE
pour POMPES
PARIS, 6, rue Boudreau, PARIS
DYNAMOS, GÉNÉRATRICES POUR ÉCLAIRAGE, TRACTION, TRANSPORT DE FORCE

APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE
VEDOVELLI et PRIESTLEY, 160-162, rue Saint-Charles, PARIS
MATÉRIEL DE TRACTION AÉRIEN ET SOUTERRAIN

Digitized by Google

Société anonyme pour le Travail Electrique des Métaux

CAPITAL : 1,000,000 DE FRANCS

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

Brevetés S. G. D. G. (Brevets Laurent-Cély et brevets de la Société)

Exposition de Lyon 1894. — Hors concours. membre du Jury

APPAREILS A POSTE FIXE

APPAREILS SPÉCIAUX POUR LA TRACTION ET L'ÉCLAIRAGE DES TRAINS

SIÈGE SOCIAL : 13, rue Lafayette, Paris. Téléphone n° 116-28. — USINE : 4, rue de Seine, Saint-Ouen. Téléphone n° 506-49

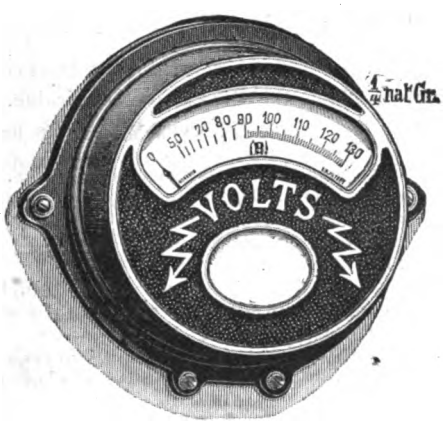
ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : FORTRANS. PARIS

Fournisseur des Ministères de la Guerre, de la Marine, des Colonies, de l'Instruction publique, de l'Administration des Postes et des Télégraphes ; des grandes compagnies de Chemins de fer et de Tramways ; des principaux secteurs de Paris et de Province, etc., etc.

RICHARD CH. HELLER & Cie

18, Cité Trévise, PARIS — Téléphone 160-58

REPRÉSENTANTS ET CONCESSIONNAIRES DE



HARTMANN & BRAUN

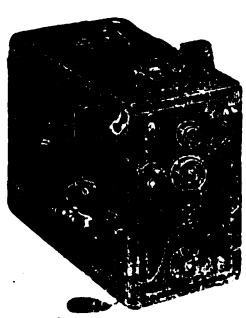
La plus importante fabrique d'instruments de mesures électriques

Voltmètres, Ampèremètres électro-magnétiques, thermiques, etc.
Wattmètres, Ohmmètres, Enregistreurs, Compteurs,
Galvanomètres, Boîtes de résistances, Photomètres, etc., etc.

Demander le nouveau prix courant des Ampèremètres et Voltmètres industriels simplifiés, en boîte de fonte élégante, cliché ci-contre.

COMPTOIR-PHOTO-PRATIQUE

Appareils Photographiques et Produits irréprochables



GRANDES FACILITÉS DE PAIEMENT

Pour **toutes les** commandes d'appareils accompagnées de leur montant intégral il est accordé un escompte de caisse de 5 p. 100

Toutes les Expéditions sont faites franco de port et d'emballage quelle qu'en soit l'importance.

Envoi gratis et franco de notre **Catalogue général illustré** ainsi que de notre " **Traité de Photographie** " renfermant environ 300 formules, à tout lecteur de **L'Éclairage Électrique** qui nous en adressera la demande.

Adresse : PHOTO-PRATIQUE, Asnières (Seine)

ALFRED DININ E. C. P.

Fournisseur de l'État, des Ministères et des grandes Administrations

ACCUMULATEURS TRANSPORTABLES

Spécialités pour l'allumage des moteurs de voitures automobiles

69, RUE POUCHET, 69 — PARIS — (Avenue de Clichy)

TÉLÉPHONE 529.14

Digitized by Google

Épreuves écrites.

Electricité	8
Dessin industriel	2
Calcul logarithmique	0,5

Épreuves orales.

Electricité	3
Mathématiques	3
Mécanique appliquée	3
Physique et Chimie	1
Calcul à la règle	0,5
Total	21

Les anciens élèves diplômés des Ecoles d'Arts et Métiers; les anciens élèves diplômés de l'Institut industriel du Nord de la France; les anciens élèves munis du certificat de l'Ecole centrale des Arts et Manufactures bénéficieront de 30 points au concours d'entrée; il en sera de même pour les candidats qui auraient des droits à la dispense et n'auraient pu être admis à en bénéficier.

IV. *Élèves étrangers.* — Les élèves étrangers, munis de titres suffisants peuvent être dispensés du concours d'entrée. La valeur des titres présentés est soumise à l'appréciation du Conseil de perfectionnement; les candidats qui désirent profiter de cette faveur doivent adresser une demande, avec pièces à l'appui, au Directeur de l'Ecole avant le 1er octobre.

V. *Nombre de places disponibles et limite des dispenses.* — Le nombre total de places disponibles à l'Ecole est fixé chaque année par le Conseil de perfectionnement qui détermine en même temps la quotité réservée au concours.

AUDITEURS LIBRES

Des auditeurs libres peuvent être admis aux cours et conférences après inscription au secrétariat de l'Ecole.

L'admission aux exercices pratiques ne peut être autorisée qu'à titre exceptionnel par le Conseil de perfectionnement sur la proposition du directeur de l'Ecole.

FRAIS D'ÉTUDES

1° *Élèves réguliers :*

Frais d'études (1)	1000 fr
Outillage (2), environ	30

(1) Payables par moitié, au 1er novembre et au 1er mars.

(2) L'outillage acquis par les élèves, à leur entrée à l'École, reste leur propriété personnelle.

2° *Auditeurs et élèves libres :*

Cours de l'Électrotechnique générale (3)	200 fr
Cours sur les mesures électriques	200
Conférences (3)	200
Exercices de Laboratoire (3)	300
Essais de machines (3)	300
Exercices d'atelier (3)	300

Les auditeurs ou élèves libres ne sont admis aux visites d'usines que s'ils sont inscrits au moins à trois cours ou exercices pratiques. Cette admission est d'ailleurs entièrement subordonnée aux nécessités des circonstances.

PROGRAMME D'ADMISSION

MATHÉMATIQUES. *Mathématiques élémentaires.* — Géométrie, Algèbre, Trigonométrie. — Usage des logarithmes et de la règle à calcul.

Mathématiques spéciales. — Principales notions de la Géométrie analytique. — Représentation graphique des fonctions usuelles.

Calcul différentiel et intégral. — Fonctions; dérivées; intégrales; différentielles et quadratures usuelles. — Calcul des aires, des centres de gravité, des moments d'inertie. — Équations différentielles linéaires à coefficients constants du premier et du second ordre sans ou avec second membre.

Mécanique. — Vitesse; accélération; force; couple; travail; puissance. — Théorème des forces vives et son application aux machines simples. — Mouvements périodiques. — Mouvement d'un solide invariable autour d'un axe. — Cas particulier d'un corps suspendu par un fil de torsion, avec amortissement.

Mécanique appliquée. — Turbines; machine à vapeur; moteur à gaz; frein de Prony.

PHYSIQUE. *Thermodynamique.* — Principe de la conservation de l'énergie; équivalence de la chaleur et du travail.

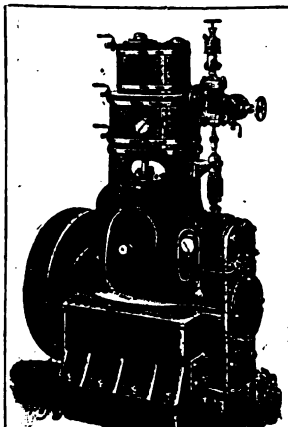
Optique. — Propriétés des lentilles et des miroirs.

Electricité et Magnétisme. — Phénomènes fondamentaux; lois numériques de l'électrostatique, de l'électromagnétisme et de l'induction.

DESSIN INDUSTRIEL. — Un croquis côté de machine à main levée.

CHIMIE. — Métalloïdes; métaux.

(3) Payable d'avance.



MACHINES A VAPEUR A GRANDE VITESSE "B. L."

à double effet et à graissage automatique sous pression

BREVETÉ S. G. D. G. EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER

(Voir description dans notre numéro du 9 septembre 1899.)

Construction française de 1er ordre; ces machines sont un progrès pour toutes industries. — **Pas de contact métallique** des organes; marche absolument silencieuse. — **Usure rigoureusement nulle** après plusieurs années de marche. — **Rendement** mécanique exceptionnel. — **Consommation** de vapeur et d'huile **par cheval au frein et prix moindres** à puissance égale qu'avec toute autre machine. — Se construit simple, double, triple et quadruple expansion.

Dynamos à vapeur à rendement maximum; attaque directe des ventilateurs pompe centrifuges, etc.

TÉLÉPHONE 213.88

(RÉFÉRENCES DE PREMIER ORDRE)

Ateliers de construction BOULTE, LARBODIÈRE et Cie

Siège social : 20, rue Taitbout, Paris. Ateliers à Aubervilliers (Seine).

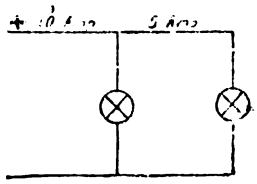
Digitized by Google

LAMPES à arc JANDUS EN VASE CLOS

Économie dans les Canalisations

LAMPES JANDUS sous **110** volts

Pas de résistance dans le circuit



Installation de 2 Lampes de 5 ampères

AVANTAGES :

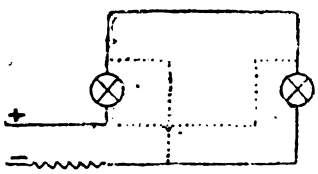
Commande indépendante des foyers
Simplicité de montage
Jamais de réglage
Jamais de collages

LÉGENDE

Lampe. — Ligne négative.
Résistance. + Ligne positive.
O Dérivateur

REMPLACEMENT

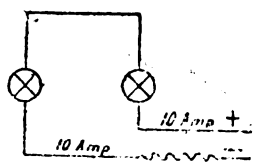
de deux anciennes Lampes par deux Lampes JANDUS



Sans modifier la canalisation existante

Anciennes **LAMPES** en Série sous **110** volts

Avec résistance obligée

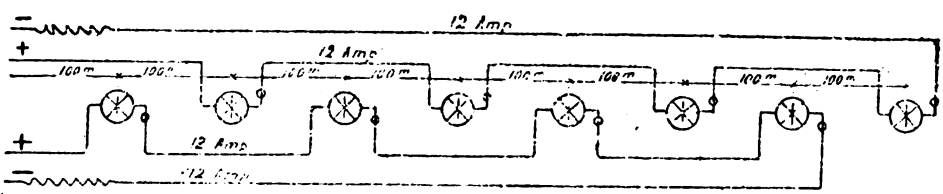


Installation de 2 Lampes de 10 ampères

INCONVÉNIENTS :

Conducteurs plus forts et plus pesants
Différence d'intensité des foyers
Dépense horaire variable
Collages occasionnels

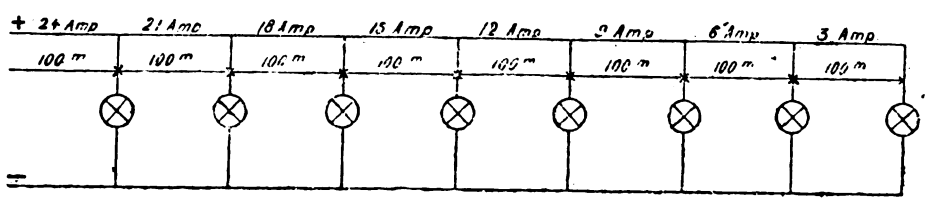
ANCIENNES LAMPES en SÉRIE : 2 groupes de 12 AMPÈRES — 220 volts



Canalisation de 3.000 mètres pesant 335 kg en fil nu (1 amp. par mm²), nécessitant la dépense supplémentaire de 2 rhéostats, 8 dérivateurs automatiques la commande par groupes de 4 lampes.

Consommation : 660 watts par lampe. — DURÉE : 8-16 HEURES

LAMPES JANDUS en dérivation 3 AMPÈRES — 220 Volts



Canalisation de 1.600 mètres pesant 193 kg en fil nu (1 amp. par mm²), complète sans aucune dépense supplémentaire à prévoir, avec commande possible de chaque foyer distinctement

Consommation : 660 watts par lampe. — DURÉE : 120-130 HEURES

Pour Catalogues et Renseignements complémentaires écrire à la Cie des Lampes à Arc JANDUS, 35, rue de Bagnolet
Magasin de détail : 9, rue des Mathurins, PARIS

Digitized by Google

Pupin (M.-I.). 640 516, U S A P, 28 mai 1895. Transmission électrique par résonance de circuit.

Mershon. 292 173, B F, 31 août 1899. Nouveaux moyens pour indiquer le potentiel dans un point quelconque des installations électriques.

Wagner (H.-A.). 107 844, D R P, 18 janvier 1899. Procédé de production d'une différence de phase entre deux ou plusieurs courants dérivés d'un système alternatif.

Siemens et Halske (A.-G.). 107 846, D R P, 15 février 1899. Dispositif à champ tournant pour produire une différence de phase de 90°.

Appareillage.

Foy. 27 053, B P, 1898. Supports de câbles électriques aériens.

Treleaven (J.). 107 992, D R P, 29 janvier 1899. Poulies d'isolateurs pour fils électriques.

Kronenberg (C.-J.). 107 907, D R P, 10 février 1899. Supports d'isolateurs.

Railing et Collings. 20 100, B P, 1899. Dispositif de suspension pour câbles d'éclairage à haut voltage.

Lee (H.). 640 575, U S A P, 7 octobre 1899. Dispositif pour l'enroulement des fils électriques.

Kappenberger. 20 121, B P, 1899. Procédé et appareil de fabrication d'isolants pour fils électriques.

Siemens et Halske (Aktien-Gesellschaft). 292-221, B F, 1er septembre 1899. Moyen évitant le jonctionnement de conducteurs électriques à des appareils ne supportant pas le courant fourni par ceux-ci.

Hydrawerk (Electrizitäts-Aktiengesellschaft). 124 224, D R P, 13 octobre 1899. Bornes de serrage avec pièce d'arrêt formant ressort pour presser sur les conducteurs électriques.

Caudee (W.-L.). 640 363-4-5, U S A P, 17 février 1899. Connecteur de câbles électriques.

Byers (J.-N.). 640 532, U S A P, 4 octobre 1899. Connecteur de câbles électriques.

Callahan (W.). 640 533, U S A P, 6 décembre 1898. Connecteur de câbles électriques.

Thomas. 19 846, B P, 1898. Boîte de jonction pour câbles électriques.

Murphy (J.-T.). 640 482, U S A P, 17 mai 1899. Boîte de jonction.

Downes (L.-W.). 640 371, U S A P, 12 avril 1899. Coupe-circuit fusible.

Davis. 292 105, B F, 29 août 1899. Perfectionnements dans les blocs fusibles pour circuits électriques.

Guenet. 292 524, B F, 13 septembre 1899. Interrupteur de sûreté pour courant électrique.

Wright et Aalborg. 292 106, B F, 29 août 1899. Perfectionnements apportés aux interrupteurs pour circuits électriques.

Metcalf (J.-M.). 640-478, U S A P, 30 août 1899. Parafoudre.

Mix et Genest (A.-G.). 108 037, D R P, 7 janvier 1899. Dispositif de vérification pour commutateur multiple.

Baivy (E.). 108 036, D R P, 11 mars 1897. Disposition en multiple pour conducteurs.

Kando (de). 292 015, B F, 25 août 1899. Rhéostat à liquide actionné par l'air comprimé.

Reissle (A.-H.). 108 022, D R P, 20 avril 1899. Couplage automatique et séparable latéralement pour voitures de chemin de fer.

Aron et Aron. 31 354, B P, 1898. Dispositif pour enrouler ou pour tendre des ressorts de suspension d'appareils électriques.

Applications mécaniques.

Johnson et Weeks. 17 715, B P, 1899. Appareil pour couper le courant des moteurs d'ascenseurs électriques et pour empêcher la chute de la cage.

Estrade. 292 472, B F, 15 septembre 1899. Perfectionnement au basculage magnétique (brevet 2.521 51).

Plesbergen (F.). 107 937, D R P, 11 septembre 1898. Instrument actionné électriquement pour le massage de l'œil.

Mc Gurty. 640 688, U S A P, 7 avril 1899. Régulateur de vitesse pour appareils électriques.

Cerebotani. 292 411, B F, 9 septembre 1899. Procédé et appareil automatique pour établir à distance, par le courant électrique, des communications exclusives entre les fils conducteurs.

Thompson. 1 697, B P, 1899. Dispositif électrique pour actionner un mécanisme à distance.

Westinghouse. 4 327, B P, 1899. Dispositif électro-pneumatique de commande à distance.

Schultz. 7 144, B P, 1899. Appareil électrique pour régulariser automatiquement les conditions physiques, telles que température, pression, état hygrométrique, etc.

Dawson (L.). 640 278, U S A P, 5 mai 1899. Transmetteur de signaux multiples.

Coleman (E.). 640 273, U S A P, 3 septembre 1897. Système d'alarme acoustique.

Traction.

Jackson (C.-A). 640 204, U S A P, 16 février 1899. Trôlet.

Hauver (A.-W.). 640 560, U S A P, 31 mai 1899. Trôlet.

Zimmermann (F.-C.). 108 042, D R P, 30 août 1898. Prise de courant avec bras de contact mobile indépendant du bras support pour tramways électriques à conducteur souterrain.

Siemens et Halske (A.-G.). 108 010, D R P, 4 janvier 1899. Disposition d'un fil de protection unique sur le fil dangereux d'un tramway électrique à conducteur aérien.

Murphy. 26 315, B P, 1898. Dispositif de suspension des moteurs électriques de tramways.

Kühlstein et Vollmer. 19 031, B P, 1899. Mécanisme de transmission de mouvement pour automobiles électriques.

Télégraphie et Téléphonie.

Murphy. 3 773, B P, 1899. Dynamomètre destiné à la pose des câbles sous-marins.

TRAVERSES DE CHEMINS DE FER

en TOUS BOIS et de TOUTES DIMENSIONS, BRUTS ou IMPRÉGNÉS

POTEAUX TÉLÉGRAPHIQUES ET MATS DE CONDUITE

en *excellent Bois droit* de la FORÊT NOIRE
IMPRÉGNÉS d'après *le Règlement de l'Administration des Postes.*

J. HIMMELSBACH, à OBERWEIER, Poste FRIESENHEIM (Bade)

Commerce de Bois et Établissements d'imprégnation

Digitized by Google

L. DESRUELLES

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS, 22, rue Laugier, PARIS

VOLTS-MÈTRES & AMPÈRES-MÈTRES

APÉRIODIQUES, SANS AIMANT

Système breveté S. G. D. G. — Dispositif entièrement nouveau

Envoi franco du tarif sur demande.

Réservé à la Société Anonyme des anciens établissements

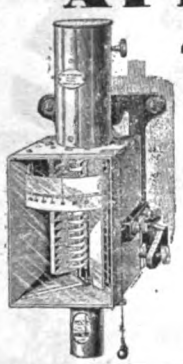
PARVILLÉE Frères et Cie

Au Capital de 1.000.000 de Francs

PORCELAINE ET FERRURES POUR L'ÉLECTRICITÉ

Siège Social, 29, rue Gauthey, PARIS

APPAREILS DE MESURE



"LORD KELVIN" — "WESTON"

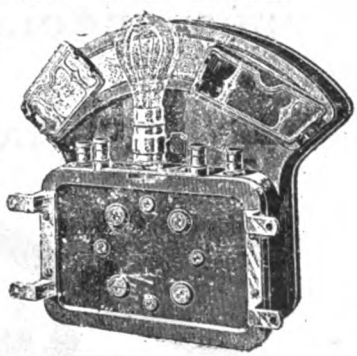
HAUTE PRÉCISION

APÉRIODICITÉ ABSOLUE

AGENTS POUR LA FRANCE :

E.-H. CADIOT Cie

12, Rue Saint-Georges. — PARIS



SCHNEIDER ET CIE

Principal établissement au CREUSOT (Saône-et-Loire). Siège social à Paris, nº 1, boulᵈ Malesherbes.

MOTEURS A VAPEUR Machines Corliss, Machines Compound, Machines monocylindriques à grande vitesse, Machines pour la commande directe des dynamos.

ÉLECTRICITÉ Installations complètes pour la production et l'utilisation de l'énergie électrique, Tramways, Chemins de fer funiculaires électriques. Grues, Treuils, Ponts roulants, Monte-charges, Ascenseurs électriques.

DYNAMOS A COURANT CONTINU SYSTÈME THURY

(Bureau de vente du matériel THURY : 50, boulevard Haussmann, Paris.)

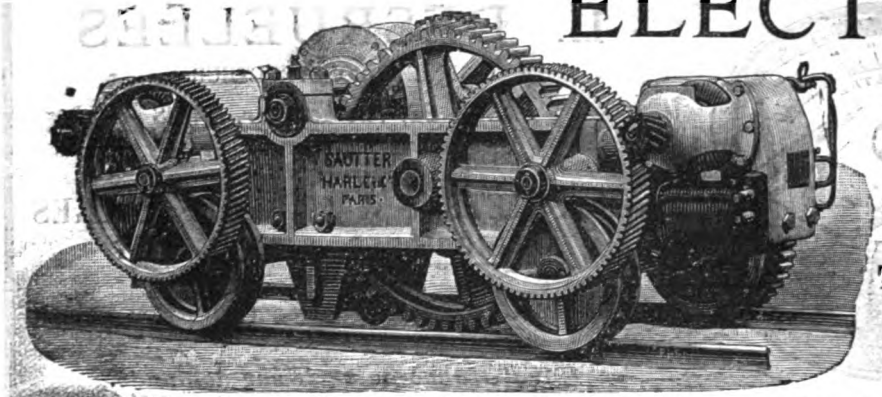
Dynamos et Transformateurs à courants alternatifs Ganz

(Brevets ZIPERNOWSKY, DERI et BLATY)

Appareils à courants diphasés et triphasés système Ganz (Brevets N. TESLA)

Digitized by Google

ÉLECTRICITÉ



INDUSTRIELLE

DYNAMOS

DE

Types courants et spéciaux

TRANSPORTS DE FORCE

ÉLECTROMOTEURS

de toutes puissances

APPAREILS DE LEVAGE ELECTRIQUES

SAUTTER, HARLÉ & C^IE PARIS

26, avenue de Suffren

La plus ancienne Maison de France, fondée en 1885

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

Garantie

Entretien

Types spéciaux

pour la

TRACTION

MICHEL PISCA

Bureaux

et Usine à vapeur

152 et 154, rue Marcadet

PARIS

TARIFS A PRIX RÉDUITS

Envoi franco sur demande

TÉLÉPHONE

Digitized by Google

COMPTEURS
D'ÉLECTRICITÉ
Système ARON b^tés s.g.d.g.
JACQUES ULLMANN, 16, boul. St-Denis
ATELIERS : 200, quai Jemmapes

COMPTEURS
D'ÉLECTRICITÉ
Système ARON b^tés s.g.d.g.
JACQUES ULLMANN, 16, boul. St-Denis
ATELIERS : 200, quai Jemmapes

Maison Farcot, fondée en 1823.

JOSEPH FARCOT

Générateurs de tous systèmes

Pompes centrifuges à grand rendement.

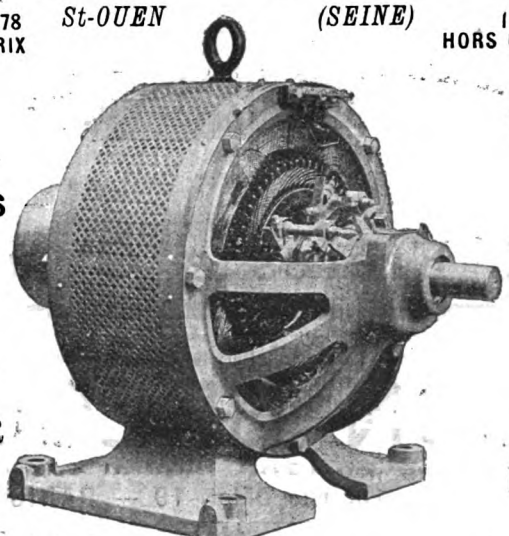
155 1869, 1878 GRANDS PRIX — St-OUEN (SEINE) — 1889 HORS CONCOURS

ÉCLAIRAGE

TRANSFORMATEURS

APPAREILS DE MANUTENTION

MACHINES A VAPEUR à grande vitesse.



TRANSPORT DE FORCE

MOTEURS CONTINUS

Moteurs Alternatifs

Électrolyse

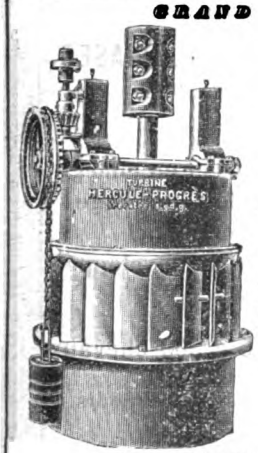
ÉLECTROMÉTALLURGIE

Envoi franco du Catalogue.

GRAND PRIX — DIPLOME D'HONNEUR — MÉDAILLES D'OR

Exposition de Bordeaux 1895 — Hors Concours — Membre du Jury

1897. **Médaille d'or** de la *Société d'encouragement* pour l'Industrie nationale pour perfectionnements aux turbines hydrauliques.



TURBINE HERCULE-PROGRÈS

Brevetée S. G. D. G. en France et dans tous les pays étrangers

LA SEULE BONNE POUR DÉBITS VARIABLES

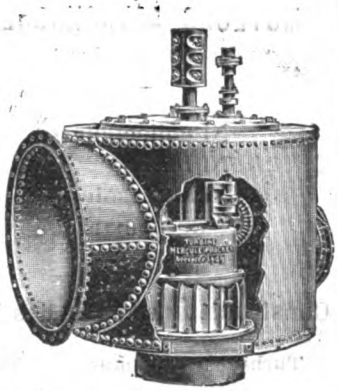
300,000 chevaux de force en fonctionnement

Supériorité reconnue pour Eclairage électrique, Transmission de force, Moulins Filatures, Tissages, Papeterie, Forges et toutes industries.

Rendement garanti au frein de 80 à 85 p. 100

Rendement obtenu avec une Turbine fournie à l'Etat français 90.4 p. 100

Nous garantissons, au frein, le rendement moyen de la Turbine « Hercule-Progrès » supérieur à celui de tout autre système ou imitation, et nous nous engageons à reprendre dans les trois mois tout moteur qui ne donnerait pas ces résultats,



AVANTAGES. — Pas de graissage. — Pas d'entretien. — Pas d'usure. — Régularité parfaite de marche. — Fonctionne noyée, même de plusieurs mètres, sans perte de rendement. — Construction simple et robuste. — Installation facile. — Prix modérés.

Toujours au moins 100 Turbines en construction ou prêtes pour expédition immédiate.

PRODUCTION ACTUELLE DES ATELIERS : **DEUX TURBINES PAR JOUR**

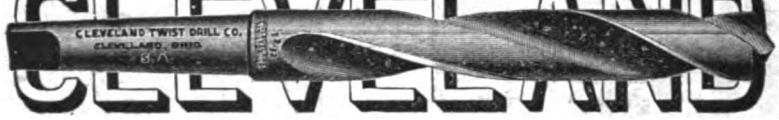
SINGRUN FRERES, Ingénieurs-Constructeurs à Épinal (Vosges)

RÉFÉRENCES, CIRCULAIRES ET PRIX SUR DEMANDE

Digitized by Google

FORETS HÉLICOÏDAUX

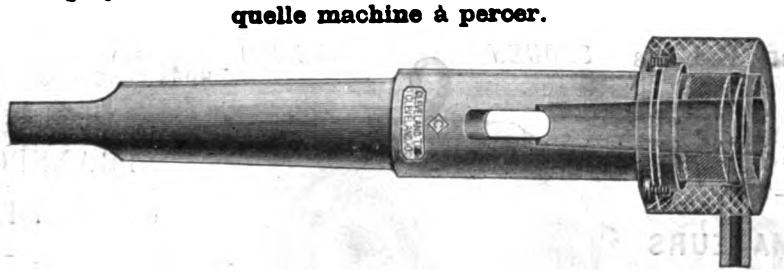
CLEVELAND



FORETS A TUBES D'HUILE

MANDRINS LUBRIFICATEURS

Pour Forets à tubes d'huile avec queue conique permettant d'employer les Forets à tubes d'huile avec queue conique sur n'importe quelle machine à percer.



FENWICK Frères & C°, 21, Rue Martel, PARIS

Diplôme d'honneur, Exposition intern^le d'électricité, Paris 1881. Hors concours, membre du Jury à l'Exposition intern^le de 1889

MAISON BREGUET

Société anonyme, fondée en 1783, capital 4.000.000 de francs

PARIS — 19, rue Didot, 19 — PARIS

APPLICATIONS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTRICITÉ

Courant continu, — Courants alternatifs.

DYNAMOS A COURANT CONTINU DE TOUTES PUISSANCES

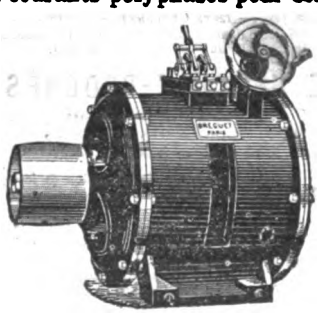
ALTERNATEURS & TRANSFORMATEURS

à courant alternatif simple et à courants polyphasés pour éclairage et transmission de force.

MOTEURS ASYNCHRONES A COURANTS POLYPHASÉS

Système Boucherot — *Breveté S. G. D. G.*

Ni collecteur
Ni balais
Ni accessoires de démarrage



Démarrage direct en charge
Le courant de démarrage est proportionnel au couple moteur développé.

Constructeur exclusif des TURBINES A VAPEUR système de Laval, de 5 à 300 chevaux.

(*Brevet de la société de Laval*)

Turbines dynamos. — Turbines motrices. — Turbines pompes. — Turbines ventilateurs.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES NAVIRES

Projecteur à miroir parabolique, brevetés S. G. D. G. — Lampe mixte horizontale, brevetée S. G. D. G.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES — APPAREILS TÉLÉPHONIQUES

Digitized by Google

Moteurs à pétrole Mietz et Weiss directement accouplés à une dynamo (E R, p. 213, 9 février).
Dispositif d'allumage des moteurs Daimler-Phénix (El, p. 71, 2 février).
Volant régulateur électrique (E R, p. 121, 19 janvier).

Dynamos et moteurs électriques. — Récents mémoires sur la commutation des dynamos à courant continu (ER, p. 86, 19 janvier; p. 211, 9 février).
Les pertes par frottement dans les dynamos ; Al. Hay (E R, p. 128, 26 janvier).
Contributions à la détermination des défauts dans les machines dynamos ; Karl Richter (ETZ, p. 38, 11 janv).
Sur les conditions de non-coïncidence des enroulements d'induit fermés sur eux-mêmes ; C. Richter (Z E T, p. 8 et 32, 1er et 14 janvier ; p. 67, 4 février).
Les facteurs entrant dans l'établissement d'un projet de génératrices mono et polyphasées ; A. Behrend (E W, p. 90 et 125, 20 et 27 janvier).
Sur le couplage en parallèle des alternateurs ; R. Emmet (E W, p. 95, 20 janvier).
Dispositif pour reconnaître et égaliser la différence de périodes entre deux alternateurs (ETZ, p. 7, 4 janvier).
Compoundage des alternateurs (A E, p. 51, janvier ; E W, p. 17, 6 janvier).
Détermination graphique de l'effet des pertes magnétiques sur la régulation des transformateurs ; F.-G. Baum (E W, p. 63, 13 janvier).
Sur la construction des convertisseurs rotatifs ; H.-F. Parshall et M. Hobart (E, p. 197, 9 février).
Convertisseur rotatif de phases ; R.-W. Quick (E W, p. 14, 6 janvier).
Projet de construction de petits moteurs électriques ; Cecil-P. Poor (A E, p. 40, janvier).
Sur la théorie des moteurs asynchrones ; J. Heubach (E T Z, p. 73, 25 janvier ; p. 97, 1er février).

Piles et accumulateurs. — L'accumulateur transportable Watt-Trocken ; Dr R. Kissenitzky (DE, p. 33, 20 janvier ; ETR, p. 90, 1er février).
Accumulateurs pour automobiles électriques (El, 9 fév.).
Les grilles d'accumulateurs ; J.-B. Höhn (D E, p. 11, 13 janvier).
Sur une méthode de détermination de la surface active des plaques d'accumulateurs ; K. Norden (Z E C, p. 397, 1er février).
Rapports de tension dans la charge et la décharge des accumulateurs ; E. Schiff (E C Z, p. 225, 1er février).
Sur les batteries-tampons ; E. Sieg (ETR, p. 91, 1er fév.).
Calcul graphique du rendement des batteries-tampons ; M. Kohn (E T Z, p. 78, 25 janvier).

Distribution. — Réformes dans les systèmes de distribution électrique ; Ch.-F. Scott (Z E T, p. 13, 1er janvier).
Distribution à trois fils au moyen d'une seule dynamo ; Edw. Bertch (E W, p. 58, 13 janvier).
Transmission et distribution de l'énergie électrique avec condensateurs Pupin (E W, p. 101, 20 janvier).
Compensation de la perte en ligne dans les circuits à courants alternatifs ; E.-J. Berg (EW, p. 60, 13 janv.).
La distribution de l'énergie électrique et la construction des alternateurs ; Alton-D. Adams (EW, p. 130, 27 janv.).

USINES DE PERSAN-BEAUMONT (Seine-et-Oise)
CAOUTCHOUC GUTTA-PERCHA, CABLES ET FILS ÉLECTRIQUES

The INDIA RUBBER, GUTTA-PERCHA & TELEGRAPH WORKS Co (Limited)

97, Boulevard Sébastopol, PARIS

FOURNISSEUR du Minist. des Post. et Tél.

USINES A PERSAN-BEAUMONT (S.-et-O.) et SILVERTOWN (Angleterre).

MEDAILLES D'OR Expos. univ. 1878-81-89

Câbles pour lumière électrique et transport de force, à haute et basse tension.
Bacs ébonite pour accumulateurs, etc., etc.

IR C

Fils cuivre isolés pour électro-aimants et dynamos.
Fils pour sonneries et téléphones.
Câbles télégraphiques, aériens, souterrains, sous-marins.

Envoi de Tarifs franco sur demande.

ACCUMULATEUR pour Voitures Électriques

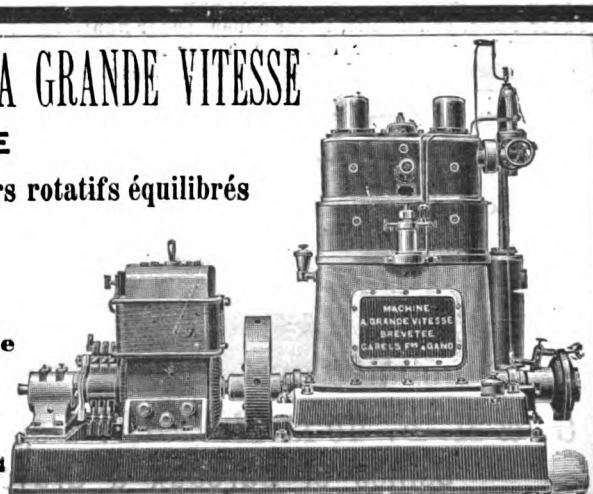
18, Quai de Clichy
CLICHY (Seine)
TÉLÉPHONE : 511.86

FULMEN

SOCIÉTÉ ANONYME DES MOTEURS A GRANDE VITESSE
SCLESSIN-LIEGE
Moteurs CARELS, à simple effet et à tiroirs rotatifs équilibrés

Construction robuste et soignée
Marche silencieuse
Régularité parfaite
Simplicité remarquable

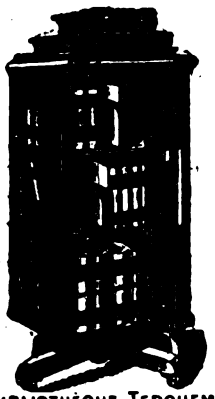
EXPOSITION ANVERS 1894 : GRAND PRIX



Agent exclusif pour la France :
L. PITOT 44, rue Lafayette, 44 PARIS

Digitized by Google

BIBLIOTHÈQUE-TOURNANTE
TERQUEM



BIBLIOTHÈQUE-TERQUEM

APPUI-LIVRES MÉTAL

APPUI-LIVRES BOIS

Indispensable à toute personne ayant besoin d'avoir sous la main des livres usuels. Sert également de casier à musique.

MODÈLES ORDINAIRES
et de
LUXE

APPUI-LIVRES
EN BOIS ET MÉTAL

Porte-Dictionnaires, etc.

Envoi franco de l'Album illustré

Em. TERQUEM
19, Rue Scribe, 19
PARIS

Appareillage spécial pour Tensions jusqu'à 500 Volts

LUSTRERIE

VENTILATEURS

Téléphones

Supports
Interrupteurs
Coupe-circuit, etc.

The General Electric Co Ltd

AGENT GÉNÉRAL :
LUCIEN ESPIR
11 *bis*, rue de Maubeuge, — **PARIS**

Caligraph

SEULE MACHINE A ÉCRIRE RAPIDE

Médaille d'Or, *Paris* 1889
Diplôme d'Honneur, *Paris* 1891

FENWICK FRÈRES & Cie
17, rue de Paradis, 17
PARIS

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE
L'ACCUMULATEUR TUDOR
Société anonyme. Capital : 1.600.000 fr.
Siège social : 48, rue de la Victoire, Paris
USINES : 39 et 41, route d'Arras, LILLE

INGÉNIEURS-REPRÉSENTANTS :
ROUEN, 47, rue d'Amiens. — LYON, 106, rue de l'Hôtel-de-Ville.
NANTES, 7, rue Scribe. — TOULOUSE, 62, rue Bayard.
NANCY, 2 *bis*, rue Isabey.

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE
Tudor Paris, Tudor Lille, Tudor Rouen, Tudor Nantes, Tudor Lyon, Tudor Toulouse, Tudor Nancy.

ANCIENNE MAISON CH. MIDOZ
C. OLIVIER & Cie SUCr
BESANÇON et ORNANS (Doubs)

CONSTRUCTION SPÉCIALE
DE
MATÉRIEL ÉLECTRIQUE
POUR
ÉCLAIRAGE
TRANSPORT de FORCE
ENVOI FRANCO des CATALOGUES **et TRACTION**

CABLES ÉLECTRIQUES

MAISONS :
LYON
ET
BORDEAUX

TÉLÉPHONE 146-84

G. & H.-B. de la MATHE. Dépôt : 81, rue Réaumur, Paris.
Usines et bureaux à Gravelle-Saint-Maurice (Seine.)

Digitized by Google

Dispositif pour le réglage de la tension dans les installations de distribution à courants simultanés au moyen d'une batterie d'accumulateurs (DE, p. 39, 20 janvier).
Comment varie l'intensité du courant dans les conducteurs et les bobines de self-induction avec la forme de l'onde de la force électromotrice ; Alex. Russell (J E E, p. 154, janvier).
Sur les installations des conducteurs de distribution dans les maisons ; W.-A. Chamen (E I, p. 512, 2 février).
Installations électriques intérieures ; Ch.-E. Knox (A E, p. 43, janvier).
Appareillage. — Interrupteur électrique de courant ; J. Lühne (D E, p. 15, 13 janvier).
Sur l'emploi du caoutchouc pour l'isolation des câbles ; Oscar Schiefer (E I, p. 426, 19 janvier).
Pare-étincelles de câbles concentriques pour courant alternatif ; Gotthold Stern (Z E T, p. 29, 14 janvier).
Sur la protection des transmissions électriques contre la foudre ; J.-T. Morris (E R, p. 94, 19 janvier ; p. 201, 2 février).
Nouveau régulateur de tension automatique ; Em. Dick (E T Z, 25 janvier).
Stations génératrices et installations. — Usine génératrice à courant de haute tension de Philadelphie (E R N Y, p. 83, 24 janvier).
Usine génératrice d'éclairage électrique de Concord, Massachusetts (E W, p. 57, 13 janvier).
Usine génératrice de la Cie Edison de New-York (A E, p. 23, janvier).
Le développement des installations du Niagara ; J.-E. Woodbridge (A E, janvier).
Sous-stations de Buffalo alimentées par l'usine du Niagara (E W, p. 58, 13 janvier).
Les installations électriques de la ville de Trieste ; G. Szuk (E T Z, p. 94, 1er février).
Les installations électriques de la corporation de Leicester (E R, p. 143, 26 janvier).
Les installations électriques de la corporation de Bolton (E R, p. 101, 19 janvier).
Les installations d'éclairage électrique de Stockport (El, p. 467, 26 janvier).
Les installations d'éclairage électrique de Bromley et Chislehurst (El, p. 462, 26 janvier).
Les installations d'éclairage et de force motrice du nouveau Post Office de Washington ; P. Alexander (E W, p. 18, 6 janvier).
Les installations électriques pour le transport de force en Californie (D E, p. 37, 20 janvier).
Sur l'uniformisation des stations centrales électriques ; R. Percy Sellon (I I, p. 83, 9 février ; El, 9 février).
Sur les projets d'installation des stations génératrices électriques ; A. Roberts (El, p. 510, 2 février).
Quelques suggestions aux directeurs des stations centrales ; Geo. Hayler (E R, p. 118, 19 janvier).

Applications mécaniques.

Sur l'emploi des courants continus et polyphasés dans les ateliers (E R, p. 160, 26 janvier).
L'emploi de l'électricité dans les forges et aciéries ; O. Lasche ; D E, p. 5, et 29, 13 et 20 janvier.
Installations électriques dans les poudreries des Etats-Unis (E, p. 115, 26 janvier).
Transporteur électrique pour applications domestiques (Z E T, p. 53, 28 janvier).
Générateurs, moteurs et appareils de montage pour l'exploitation des grues électriques ; F. Niethammer (E T Z, p. 38 et 55, 11 et 18 janvier).
Le système sélecteur (E T Z, p. 61, 18 janvier).
La théorie de « Boda » sur l'équipement des block-systèmes électriques ; W. Krejsa (Z E T, p. 20, 36, 46 et 59, 7, 14, 21 et 28 janvier).
Distribution de l'heure par l'électricité ; F. Hope-Jones (J E E, p. 119, janvier).

Traction.

Le système de traction avec troisième rail (E R, p. 203, 2 février).

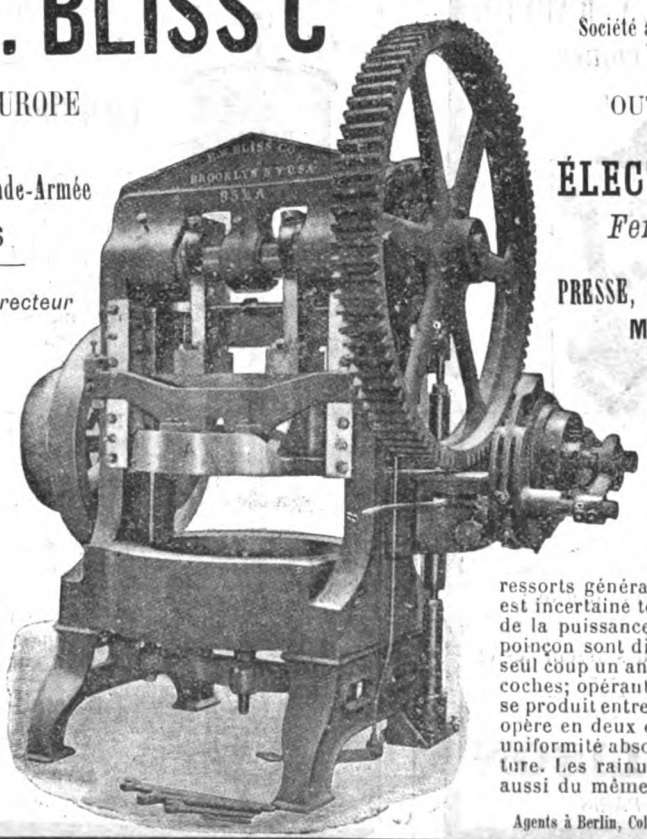
E. W. BLISS Co BROOKLYN N.-Y. (États-Unis)

Société anon., capital : 10.000.000 de fr.

SIÈGE EN EUROPE
12 *bis*
Avenue de la Grande-Armée
PARIS

A. WILZIN, Directeur

TÉLÉPHONE 526·12



OUTILLAGES SPÉCIAUX
POUR
ÉLECTRICITÉ, LAMPES
Ferblanterie, Bicycles

PRESSE, DÉCOUPOIRS, MARTEAUX-PILONS
Machines à emboutir

Presse n° 95 3/4 A (Ci-contre)
Pour découper les induits de dynamos

Cette presse munie de mécanismes d'éjection fonctionnant d'une façon certaine et consommant peu de force, dégage la feuille et les déchets sans les ressorts généralement employés et dont l'action est incertaine tout en absorbant une forte partie de la puissance de la machine. La matrice et le poinçon sont disposés de façon à découper d'un seul coup un anneau (ou un segment) avec les encoches ; opérant ainsi, on évite l'excentricité qui se produit entre les deux circonférences lorsqu'on opère en deux ou plusieurs fois et on assure une uniformité absolue dans les divisions de la denture. Les rainures de clavetages se poinçonnent aussi du même coup.

Agents à Berlin, Cologne et Vienne : SCHUCHARDT et SCHUTTE

Digitized by Google

TRAVERSES DE CHEMINS DE FER

en TOUS BOIS et de TOUTES DIMENSIONS, BRUTS ou IMPRÉGNÉS

POTEAUX TÉLÉGRAPHIQUES ET MATS DE CONDUITE

en *excellent Bois droit* de la FORÊT NOIRE
IMPRÉGNÉS d'après *le Règlement de l'Administration des Postes.*

J. HIMMELSBACH, à OBERWEIER, Poste FRIESENHEIM (Bade)

Commerce de Bois et Établissements d'imprégnation

ATELIERS RUHMKORFF

J. CARPENTIER

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS — 20, rue Delambre, 20 — PARIS

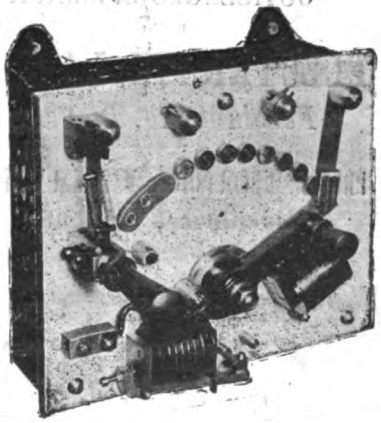
APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES

Ohmmètre pour la mesure des isolements. — Wattmètres pour la vérification des compteurs. — Pyromètre électrique de M. Le Chatelier. — Installation pour la vérification des ampèremètres et voltmètres. — Appareil pour la mesure rapide des faibles résistances. — Voltmètre de précision. — Boîtes de résistances industrielles. — Bobines Ruhmkorff pour l'inflammation des moteurs à gaz.

APPAREILS DE MISE EN MARCHE

Pour moteurs électriques

(MODÈLE DÉPOSÉ)



AVANTAGES :

1° Protection contre le manque d'induction;
2° Fausse manœuvre impossible;
3° Tous les accessoires de moteurs assemblés en un seul appareil;
4° Construction irréprochable.

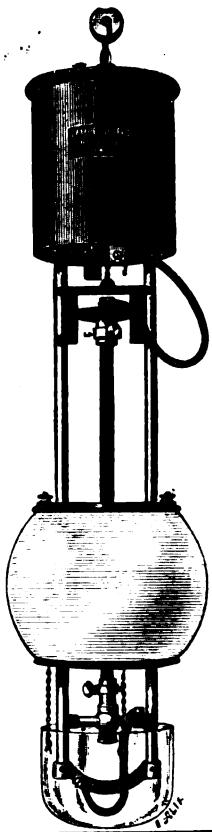
GEORGE ELLISON

33, rue de l'Entrepôt, PARIS

LAMPE DUFLOS

BREVETÉE S. G. D. G.

En France et à l'Étranger



COMBIER ET DUFLOS

INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS

12, rue du Delta, Paris

Modèle unique pour intensités de 3 à 15 ampères

POINT LUMINEUX FIXE

FONCTIONNEMENT GARANTI SANS COLLAGES DE CHARBONS

Courants continus et courants alternatifs

La lampe DUFLOS est adoptée par les ministères : de la Guerre, du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes.

RHÉOSTATS PERFECTIONNÉS MOTEURS — VENTILATEURS

Expériences tous les jours de 2 h. à 6 heures
12, rue du Delta

Delafolie, Bastide, Castoul aîné et Cie

6, rue Martel, Paris.

CONCESSIONNAIRES

Digitized by Google

Appareillage des canalisations aériennes pour tramways électriques; Benz (Elé, p. 6 et 39, 6 et 20 janvier).
Sur les dangers causés par les conducteurs aériens des tramways électriques; J. Sahulka (Z E T, p. 17 et 30, 7 et 14 janvier).
Sur les moteurs de tramways (E R, p. 162, 26 janvier).
Quelques remarques sur l'entretien des voitures de tramways et leur équipement (E R, p. 199, 2 février).
Les lignes électriques de la première compagnie de tramways à Moscou; Erich Krannhals (E T Z, p. 113, 8 février).
Les tramways électriques de Coventry (E R, p. 187, 2 février).
Les tramways électriques de l'île de Man (El, p. 458, 26 janvier).
Le tramway électrique de la 3e avenue à New-York (El, p. 439, 19 janvier).
Les tramways électriques de Côme; R. V. Podoski (E T Z, p. 3, 4 janvier).
Essais de traction électrique à Londres (E R, p. 214, 9 février).
L'usine génératrice pour traction de la compagnie de Tramways de la 3e avenue à New-York (El, p. 427, 19 janvier).
Automobiles électriques américaines; F.-B. Rae (E W, p. 92 et 129, 20 et 27 janvier).
Méthode de construction des automobiles Columbia (E W, p. 53, 13 janvier).
Automobile électrique de la Electric Motiv Power Cy (Il, p. 53, 26 janvier).
Automobile électrique, système Egger-Lohner (D E, p. 56, 3 février).
Avant-train moteur électrique (E R, p. 129, 26 janvier).

Télégraphie et Téléphonie.

Le développement de la télégraphie sans fils; Patrick B. Delany (E M, p. 747, février).
Progrès dans la télégraphie sans fils; Marconi (El, p. 552 et 555, 9 février).
Nouveaux brevets sur la télégraphie sans fils (E T Z, p. 10, 4 janvier).
Le câble transpacifique américain; G. Owen Squier (E W, p. 24, 6 janvier; E R, p. 117, 19 janvier; E R N Y, p. 35 et 157, 10 et 26 janvier.
Télégraphe transpacifique (E W, p. 98, 20 janvier).
Nouveau système téléphonique avec ligne commune; Jul.-H. West (El, p. 496, 2 février).
Quelques défauts intéressants constatés sur les circuits téléphoniques; Busyback (E R, p. 120, 19 janvier).
L'énergie des courants téléphoniques; E. W. Caldwell (E R N Y, p. 8, 3 janvier).
Tableau téléphonique à leviers pour lignes doubles, système Charles Tournaire; L. Montillot (Elé, p. 17, 13 janvier).
Bureau central téléphonique « Bedford » à Brooklyn (E W, p. 99, 20 janvier).
Bureau central téléphonique de Parkesburg (E W, p. 127, 27 janvier).
Bureau téléphonique de St-Louis; F.-E. Bausch (E W, p. 5, 6 janvier).

COMPAGNIE FRANÇAISE DES MÉTAUX

Société anonyme au capital de 25 millions de francs
Siège social : 10, rue Volney, PARIS. Téléphone deux fils { n° 247-84 / n° 247-85

FILS ET CABLES DE HAUTE CONDUCTIBILITÉ

Fils Télégraphiques

BARRES POUR TABLEAUX DE DISTRIBUTION

Coins pour Collecteurs de Dynamos, etc., etc.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES CABLES ÉLECTRIQUES

Système BERTHOUD, BOREL & Cie

Société anonyme au capital de 1.300.000 *francs.*

Siège social et Usine à Lyon : 11, Chemin du Pré-Gaudry,

CABLES ÉLECTRIQUES SOUS PLOMB, POUR BASSES ET HAUTES TENSIONS

Transports de force, Tramways, Lumière, Télégraphie, Mines, etc., etc.

Fournisseurs du Secteur des Champs Élysées à Paris,
de la Société des Forces motrices du Rhône à Lyon et des villes de Limoges, Le Havre, Châlons-sur-Saône. Dieppe, Cognac, Pau, Amiens, etc.

Digitized by Google

Les canalisations aériennes et souterraines de la compagnie téléphonique de St-Louis, ; F.-Cl. Crosby (E W, p. 10, 6 janvier),
Téléphonie en Suède (E R N Y, p. 62, 17 janvier; E W, p. 137, 27 janvier).

Éclairage.

Le problème de l'éclairage ; Dr B. Dessau (E T R, p. 82, 15 janvier).
Les précurseurs de Nernst; L. et C. de Somzée (Elé, p. 37, 20 janvier).
Analogie entre la conductibilité de l'arc voltaïque et celle de certains oxydes métalliques; W. B, Burnie (Z E C, p. 392, 25 janvier).
Le prix de l'éclairage par arc; H. H. Wait (A E, p. 24, janvier; E W, p. 100, 20 janvier).
Le développement de l'éclairags à arc à courant continu; M. Biebel (E R N Y, p. 60, 17 janvier).
Développement récent dans les lampes à arc à courant alternatif en série; R. Fleming (E R N Y, p. 92, 24 janvier).
Intensités lumineuses relatives des arcs enfermés alternatifs et continus (E W, p. 66, 13 janvier).
Comparaison photométrique des globes employés dans l'éclairage; R.-B. Williamson et J.-H. Klinck (J F I, p. 66, janvier).
Récents dispositifs pour l'éclairage par arc; X. Gosselin (Sic, p. 443, décembre).
Lampe à arc double de Korting et Mathiesen (D E, p. 55, 3 février).
Lampes à arc; A. Schwarz (E T R, p. 80, 15 janvier).
Sur les lampes à incandescence (E W, p. 22, 6 janvier).
L'éclairage électrique public de Trieste; J. Herzog (E W, p. 21, 6 janvier).

Electrochimie.

L'électrochimie en 1899; Dr M. Krüger (E C Z, p. 229, 1er février).
Préparation des plaques d'électrodes (E T R. p. 80, 15 janvier).
Sur la production de l'ozone par voie électrolytique; G. Targetti (N C, p. 360, novembre).
La préparation du graphite dans le four électrique (ECZ, p. 227, 1er février).
La fabrication du carborundum à Niagara (E R N Y, p. 76, 17 janvier).
Sur la décomposition du chlorure de sodium; Richard Lorenz (Z E C, p. 390, 25 janvier, p. 409, 1er février).
Sur la décomposition du chlorure de sodium; R. Lorenz et H. Wehrlin (Z E C, p. 419, 8 février).
Sur la formation du chlorate. Réponse au professeur Fœrster; H. Wohlwill (Z E C, p. 411, 1er février).
Sur les fours électriques, particulièrement au point de vue de la préparation du carbure de calcium; Birger Carlson (Z E C, p. 413, 8 février.
L'emploi de l'aluminium dans les transmissions électriques du chemin de fer élevé du nord-ouest de Chicago (A E, p. 20, janvier).
Feeders en aluminium pour tramways électriques (El, 9 février).
Notes sur l'électrogalvanisation; Sh. Cowper-Coles (El, p. 69, 2 février).
Notes sur l'adhésion du zinc électrolytique à l'acier; Sherard Cowper-Coles (El, p. 434, 19 janvier).
Sur la préparation électrolytique des matières colorantes E.-C. Szarvasy (Z E C, p. 403, 1er février).

Mesures.

Sur les unités électriques (E R, p. 202, 2 février).
Sur le compteur à double tarif de Brown et Routin (E T R, p. 81, 15 janvier).
Compteur horaire d'électricité à cadrans multiples de M. Villy; M. Aliamet (Elé, p. 33, 20 janvier).
Nouveaux instruments de mesure pour courants alternatifs; M. Aliamet (Elé, p. 1, 6 janvier).
Méthodes optiques pour les recherches sur les courants alternatifs; E.-E. Seefehlner (Z E T, p. 5, 23, 44 et 55, 1, 7, 21 et 28 juin).
Méthode pour la mesure de la fréquence des courants alternatifs (E T R, p. 79, 15 janvier).
Nouvelle méthode pour la comparaison de deux self-inductions; H.-V. Carpenter (P R, p. 52, janvier).
Nouvelle méthode pour l'étude des courbes d'hystérésis; K. Angström (E R N Y, p. 38, 10 janvier).

Divers.

La situation de l'industrie électrique à fort courant en Autriche-Hongrie; Em. Honigmann (E T Z, p. 115, 8 février).
La section américaine à l'Exposition de 1900 (E W, p. 89, 20 janvier).

CHEMINS DE FER DE L'OUEST

Augmentation de la durée de validité

des billets d'aller et retour à l'occasion de certaines fêtes.

La Compagnie des chemins de fer de l'Ouest vient de soumettre à l'homologation ministérielle une proposition ayant pour objet d'arrêter ainsi qu'il suit, à l'occasion de certaines fêtes, la durée de validité des billets d'aller et retour (grandes lignes).

Carnaval. — Les billets délivrés à partir du Samedi gras, seront valables jusqu'au Mercredi des Cendres.

Pâques. — Les billets délivrés à partir de la veille du dimanche des Rameaux, seront valables jusqu'au jeudi de la semaine de Quasimodo.

Ascension. — Les billets délivrés à partir du mardi précédent l'Ascension, seront valables jusqu'au Mardi suivant;

Pentecôte. — Les billets délivrés à partir du vendredi précédant la Pentecôte, seront valables jusqu'au jeudi suivant;

Fête Nationale. — Les billets délivrés à partir du 7, seront valables jusqu'au 18 juillet;

Assomption. — Les billets délivrés à partir du 11, seront valables jusqu'au 21 août;

Toussaint. — Les billets délivrés à partir du 28 octobre, seront valables jusqu'au 4 novembre;

Noël et Jour de l'An. — Les billets délivrés à partir du 23 décembre seront valables jusqu'au 5 janvier.

Cette proposition s'applique également aux billets délivrés en commun avec les compagnies du Nord, d'Orléans, de l'Etat, de la Grande Ceinture, d'Enghien à Montmorency, de Magny à Chars, avec la Compagnie des bateaux omnibus de Rouen et les Sociétés de tramways de la Sarthe et d'Ille-et-Vilaine et de Saint-Romain-de-Colbosc.

HOURY & Cie

MANUFACTURE GÉNÉRALE

DE

CABLES & FILS NUS & ISOLÉS

POUR

Toutes les Applications de l'Électricité

ADMINISTRATION : 60, Rue de Provence | USINES : Rue Pelleport, 110

PARIS

Catalogues et Échantillons franco sur demande.

Digitized by Google

Tome XXII Samedi 24 Février 1900. 7e Année. — N° 8.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

La reproduction des articles de L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE est interdite.

E. NELSON-UHRY. — Exposition universelle : Le Palais de l'Electricité et le Château d'Eau . . . 280
S. HANAPPE. — Applications de la théorie graphique à l'étude des principales canalisations à courants alternatifs . . . 283
A. BAINVILLE. — Accumulateurs pour automobiles électriques : Le concours de l'Automobile-Club. Accumulateur de la Société des soudières électrolytiques ; Accumulateurs Titan ; Accumulateurs Pope . . . 289

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

Génération : Les agrandissements de l'usine électrique de la ville de Zurich . . . 291
Recherches sur la courbe de court-circuit des alternateurs, par Alexandre Rothert . . . 299
Sur la chute de tension dans les alternateurs, par B.-V. Behrend . . . 303
Sur la chute de tension dans les alternateurs, par Arnold . . . 306
Electrochimie : Recherches sur la préparation électrolytique des chlorates, bromates et iodates alcalins, par Erich Müller . . . 308
Bains d'électro-déposition Marino à la glycérine . . . 311
Procédé Steinhart, Vogel et Fry pour l'extraction électrolytique du zinc de son oxyde . . . 311
Electro-déposition du cuivre de solutions alcalines, par Sherard Cowper-Coles . . . 312
Quelques notes sur l'électro-galvanisation, par Sherard Cowper-Coles . . . 212
Recherches théoriques : Pouvoir diélectrique et conductibilité de l'ammoniaque liquide, par Goodwin et de kay Thompson . . . 314
Influence du diélectrique environnant un fil de cuivre sur sa conductibilité, par J.-F. Merrill . . . 314

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

Académie des Sciences : Sur la dispersion du rayonnement du radium dans un champ magnétique, par H. Becquerel . . . 314
Comparaison de diverses formes de l'interrupteur Wehnelt et de l'interrupteur Foucault, par A. Turpain . . . 314
Sur les courants thermomagnétiques, par G. Moreau . . . 315
Société française de Physique : Recherches théoriques sur les déformations électriques des diélectriques solides, par Sacerdote . . . 317
Sur la dispersion du rayonnement du radium dans un champ magnétique, par H. Becquerel . . . 317
Société de Physique de Londres : Controverse concernant la force électromotrice de Volta, par O. Lodge. 318
Northwestern electrical Association : Sur l'utilisation des stations génératrices d'électricité comme stations centrales de chauffage, par W.-H. Schott . . . 519
Essais de lampes à incandescence, par G.-D. Shepardson . . . 520

SUPPLÉMENT

Ecole supérieure d'électricité. — **Génération et distribution :** La station centrale de Ventnor (Ile de Wight). — Les installations d'éclairage électrique de Govan (Angleterre). — Législation étrangère des distributions d'énergie. — **Traction :** La traction électrique en Grande-Bretagne. — Notes sur la traction électrique dans diverses villes du monde. — **Télégraphie :** Un nouveau câble entre la France et l'Angleterre. — Câble transpacifique « tout anglais ». — Navire télégraphique allemand. — La téléphonie interurbaine en Italie. — Eric Telephone System. . . . LXXXVI
Bibliographie : Machines à vapeur et machines thermiques diverses, par J. Dejust . . . XCIX
Problèmes sur l'électricité, par Robert Weber . . . C

SOCIÉTÉ FRANÇAISE POUR LA CONSTRUCTION
DES
ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES
CAPITAL UN MILLION

Accumulateurs pour la traction

PARIS, 3, rue de la Bienfaisance.

TÉLÉPHONE 534-98

Digitized by Google

NOUVELLES ET ÉCHOS

Ecole supérieure d'Electricité. — Dans le dernier numéro, en signalant les modifications apportées aux conditions d'admission à cette école, nous avons donné une interprétation erronée de l'une d'elles.

Il faut toujours pour pouvoir être dispensé du concours d'entrée, *trois* certificats d'études supérieures (et non deux comme nous le disions), parmi lesquels le certificat de Mécanique rationnelle et de Physique générale.

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

La station centrale de Ventnor (Ile de Wight). — Cette station mise à l'exploitation le 1er mars dernier alimente par un circuit à trois fils à 2 × 220 volts, la petite ville de Ventnor, mais doit alimenter également les villes voisines de Sandown, Shanklin, New-Port. Elle comprend deux bâtiments : l'un contenant la chambre des chaudières et la salle des machines, l'autre la salle des accumulateurs et les bureaux.

Les chaudières au nombre de deux sont du type Babcock-Wilcox avec réchauffeurs et cylindre de purification pouvant vaporiser près de 3 m³ d'eau à l'heure. L'eau d'alimentation prise sur les conduites de la ville est envoyée dans les chaudières par deux pompes Worthington ; la canalisation est établie en double et l'une quelconque des pompes peut alimenter l'une quelconque des chaudières. Les conduites de vapeur sont disposées en boucles et sont recouvertes ainsi que les chaudières d'une couche de calorifuge « magnesia ».

La salle des machines contient deux moteurs Belliss à grande vitesse de 120 chevaux chacun, d'une vitesse angulaire de 420 t : m directement accouplés à deux dynamos Parker de 84 kilowatts construites pour donner 180 ampères sous une tension de 410 à 440 volts ; elle contient en outre deux survolteurs pouvant élever de 70 volts la tension d'un courant de 70 ampères et l'égaliseur pouvant faire passer 50 ampères d'un pont sur l'autre.

La batterie d'accumulateurs est formée de 220 éléments de chacun 19 plaques DP ; sa capacité est de 480 ampères-heure pour une intensité de décharge de 55 ampères ; elle peut donner sans inconvénient 80 ampères.

Le réseau de Ventnor est alimenté par deux feeders à trois conducteurs concentriques posés directement dans le sol ; leur longueur est de 800 à 1 000 m. Un troisième feeder sert spécialement à l'alimentation de l'hôpital situé à 1 600 m de l'usine ; ce feeder est à trois conducteurs concentriques avec armature de plomb protégée par des cordes tressées et posé dans un caniveau en bois rempli de bitume.

A la fin de l'année 1899, le réseau alimentait 3 730 lampes de 8 bougies ou équivalentes, 16 lampes à arc de 10 ampères et 65 lampes à incandescence de 25 bougies. La puissance requise va d'ailleurs rapidement en augmentant et déjà un troisième groupe générateur de 350 che-

TRAVERSES DE CHEMINS DE FER
en TOUS BOIS et de TOUTES DIMENSIONS, BRUTS ou IMPRÉGNÉS
POTEAUX TÉLÉGRAPHIQUES ET MATS DE CONDUITE
en *excellent Bois droit* de la FORÊT NOIRE
IMPRÉGNÉS d'après *le Règlement de l'Administration des Postes.*
J. HIMMELSBACH, à OBERWEIER, Poste FRIESENHEIM (Bade)
Commerce de Bois et Établissements d'imprégnation

APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE
VEDOVELLI et PRIESTLEY, 160-162, rue Saint-Charles, PARIS
MATÉRIEL DE TRACTION AÉRIEN ET SOUTERRAIN

Digitized by Google

vaux comprenant une chaudière Babcock-Wilcox, un moteur Belliss et une dynamo Parker est commandé. Pour l'éclairage, l'énergie électrique est vendue 0,75 fr le kilowatt pour la première heure d'utilisation et 0,42 fr pour les heures suivantes. Pour les moteurs électriques elle est vendue 0,42 fr sans conditions d'utilisation minimum.

Les installations d'éclairage électrique de Govan (Angleterre). — Govan est une commune qui, bien que voisine de Glasgow n'est pas alimentée par l'important réseau de cette dernière ville. Une station génératrice y a été installée et sa mise en exploitation date du 20 janvier dernier. Cette station est placée au centre de la commune mais des précautions ont été prises en vue de pouvoir l'agrandir ultérieurement.

La chambre des chaudières contient deux générateurs Babcock-Wilcox pouvant donner près de 2 000 kgr de vapeur par heure sous la pression de 11 atmosphères ; elles sont munies de surchauffeurs de vapeur et des chauffeurs d'eau d'alimentation. L'eau d'alimentation est envoyée aux chaudières au moyen d'une pompe Blake et Knowles mue par un moteur électrique de la General Electric Company, fonctionnant sous une tension de 500 à 600 volts. Les conduites de vapeur sont disposées en boucle et recouvertes d'une couche de calorifuge « magnesia ».

La chambre des machines renferme deux moteurs Belliss et Morcom compound, à graissage automatique, d'une puissance de 150 chevaux et d'une vitesse angulaire de 440 t : m. Chacun d'eux est directement accouplé à une dynamo Thomson-Houston tétrapolaire à enroulement en dérivation donnant du courant continu à une pression de 500 à 600 volts. (La distribution se fait par trois fils avec 250 volts sur chaque pont.) L'égalisateur consiste en deux dynamos accouplées aux deux extrémités d'un même arbre et tournant à la vitesse angulaire de 1 000 t : m ; chaque armature peut supporter un courant de 50 ampères. Le survolteur consiste en trois machines couplées sur un même arbre, la machine centrale servant de moteur ; chacune des dynamos extrêmes peut élever de 169 volts la tension d'un courant de 40 ampères.

La batterie d'accumulateurs est formée d'éléments Tudor du type L. A.

COMPAGNIE FRANÇAISE DES MÉTAUX

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE **25 millions** DE FRANCS

Siège social : 10, rue Volney, PARIS. Téléphone deux fils { n° 247-84 / n° 247-85

FILS ET CABLES DE HAUTE CONDUCTIBILITÉ

Fils Télégraphiques

BARRES POUR TABLEAUX DE DISTRIBUTION

Coins pour Collecteurs de Dynamos, etc., etc.

Digitized by Google

Le réseau de distribution qui, comme il a été dit plus haut, est à trois fils avec 250 volts sur chaque pont, comprend pour le moment environ 45 km de câbles principaux ; il alimente pour l'éclairage public 85 lampes à arc qui remplacent 296 becs de gaz auparavant employés ; la puissance totale de l'installation permettra d'alimenter 10 000 lampes de 8 bougies.

Législation étrangère des distributions d'énergie. — En février 1898, M. Guillain déposait devant la Chambre le rapport de la Commission chargée de l'étude d'un projet de loi sur les distributions d'énergie, projet de loi dont nous avons parlé dans le numéro du 16 avril de cette Revue (t. XV, p. 107 et 127). Ce rapport n'ayant pu venir en discussion avant la fin de la législature de 1893-1898, une nouvelle Commission fut nommée par la Chambre actuelle et le 26 juin dernier, M. Berthelot présentait son rapport.

A ce rapport sont joints plusieurs annexes, dûs pour la plupart à M. A. Blondel. Dans l'un l'auteur examine la législation existante dans divers pays européens et aux Etats-Unis ; nous le reproduisons ci-dessous :

Introduction. — Le but de cette note est de faire connaître l'état de la Législation des distributions d'électricité dans les pays où elle a pris relativement le plus grand développement : Etats-Unis, Suisse, Allemagne. Nous y avons joint l'Italie et l'Angleterre, bien que ces deux pays soient bien moins avancés, parce que le premier est un de ceux où l'on se préoccupe le plus de développer ces installations par une législation favorable, et que le second nous sert souvent de modèle, à tort ou à raison. Avant d'indiquer en détail les dispositions légales de chacun de ces pays, il est bon de remarquer qu'on peut les partager en deux classes au point de vue du système administratif : l'Angleterre, l'Italie et l'Allemagne ou tout au moins les Etats principaux de cette dernière, sont, à des degrés divers, des pays de centralisation, la Suisse et les Etats-Unis des pays de décentralisation.

Cette différence se fait sentir naturellement dans la législation des distributions électriques : les premiers ont une législation à peu près uniforme, sauf les réserves que nous ferons pour l'Allemagne. Dans les seconds la législation varie plus ou moins d'un Etat ou d'un canton à l'autre. Dans les pays centralisés, la nécessité de recourir au pouvoir central pour obtenir le droit d'expropriation a fait que jusqu'ici les industriels, reculant devant une procédure lente et compliquée, n'ont pu faire à peu près aucun usage de cette faculté. Aussi voit-on en Angleterre et en Allemagne un mouvement très net se dessiner dans les milieux industriels en faveur d'un changement de législation qui rende plus facile la déclaration d'utilité publique. En Allemagne, la question a été discutée au dernier congrès du Syndicat des électriciens allemands par l'un d'eux M. Haas, qui a fait ressortir l'inégalité des traitements accordés aux industries de transport et aux industries électriques. En Angleterre, il s'est formé une Société, la " Central Electric supply C° ", qui poursuit devant le Parlement une campagne dans le même but ; elle y est autorisée par l'excès de centralisation incroyable de la législation électrique anglaise : celle-ci force toutes les entreprises électriques de distribution à demander une concession au Parlement par l'intermédiaire du Board of Trade, et ne reconnaît même pas aux autorités locales le pouvoir d'accorder une permission de voirie.

Le très grand retard de l'Angleterre, en matière de distribution de la force par l'électricité, sur les pays du continent, peut s'expliquer, semble-t-il, par ces difficultés de législation et par les obstacles apportés par les règlements à l'emploi des canalisations aériennes qui ont au contraire favorisé ce développement en Suisse et aux Etats-Unis.

En Italie, les inconvénients de la centralisation ont été complètement supprimés par une législation nouvelle, aussi rationnelle que libérale, qui assimile simplement les canalisations d'électricité aux canalisations d'eau et délègue aux préfets tous les pouvoirs d'autorisation nécessaires. Le droit d'expropriation est remplacé par un droit de passage illimité ou peu s'en faut.

Dans les pays décentralisés, l'industriel se trouve

Société pour l'exploitation générale du Caoutchouc, de la Gutta-Percha et de l'Amiante

FILS & CABLES ÉLECTRIQUES ISOLÉS

Maison fondée en 1872
Médailles et huit diplômes d'honneur dans plusieurs Expositions.

PIRELLI & C^IE A MILAN

Siège social et Usine principale à MILAN. Usine succursale à SPEZIA pour la construction des câbles sous-marins

Fournisseurs de la Marine Royale, des Télégraphes et des Chemins de fer d'Italie, des principales Entreprises. Usines industrielles, etc. Exportation

Caoutchouc en feuilles et en plaques, Clapets, Tuyaux, Courroies, Articles mixtes en Caoutchouc et Amiante, Fil élastique Feuille anglaise, Tissus et Vêtements imperméables, Articles de Mercerie, hygiène et chirurgie, de voyage et sport, Ballons et jouets en Caoutchouc, Gutta-Percha en pains, feuilles, cordes, etc.

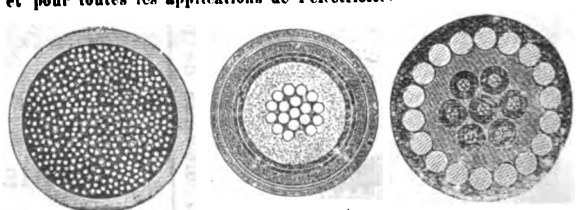
Articles divers pour Vélocipèdes, Garnitures pneumatiques des meilleurs systèmes, anneaux creux, etc.

Fils et Câbles isolés avec Caoutchouc vulcanisé et avec tous les autres meilleurs systèmes connus pour lumière électrique à haute et basse tension pour télégraphes, téléphones, et pour toutes les applications de l'électricité.

CABLES SOUTERRAINS
avec isolement de fibres imprégnées dans le vide, protection de plomb, armature de ruban en fer pour hautes et basses tensions, pour transport de force, lumière et traims.

CABLES TÉLÉPHONIQUES
avec isolement de papier à circulation d'air.

CABLES SOUS-MARINS



Câble téléphonique. Câble souterrain isolé avec fibres imprégnées. Câble sous-marin multiple.

Digitized by Google

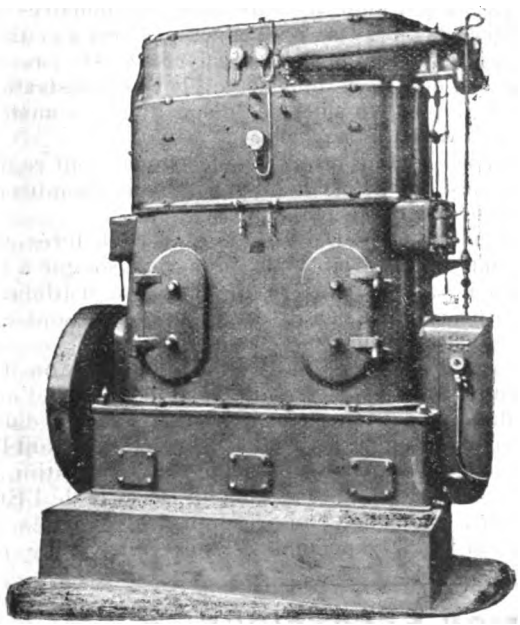
MACHINES BELLEVILLE

A GRANDE VITESSE

Avec Graissage continu à haute pression

PAR POMPE OSCILLANTE SANS CLAPETS

BREVET D'INVENTION S. G. D. G. DU 14 JANVIER 1897



Machines à simple, double, triple et quadruple expansion, robustes, économiques ;

Fonctionnant sans bruit, sans vibrations ;

Occupant peu de place ;

Faciles à conduire, aisément visitables et démontables ;

Disposées pour conduire directement des dynamos, pompes centrifuges, etc.

TYPES de 10 à 2.000 CHEVAUX

ENVOI FRANCO DE TOUS RENSEIGNEMENTS

Delaunay Belleville et C^ie^, à Saint-Denis-sur-Seine

Adresse télégraphique : BELLEVILLE, Saint-Denis-sur-Seine

Digitized by Google

en contact immédiat avec l'autorité concédante, qui est le canton ou la commune en Suisse, l'Etat ou la commune en Amérique ; sa demande est donc instruite très rapidement. En outre, les cantons, sauf une ou deux exceptions, et les Etats accordent facilement le droit d'expropriation pour les entreprises électriques. Grâce à ces deux conditions favorables les distributions d'énergie ont trouvé dans ces pays un terrain très propice, où l'initiative de leurs ingénieurs a trouvé son plein développement. Il faut ajouter cependant que l'octroi de droits de souveraineté aussi étendus à des groupes aussi petits que certains cantons suisses et que les communes américaines pourrait sans doute donner lieu dans d'autres pays à bien des abus. Il ne faut pas oublier en effet que le niveau de l'instruction populaire est très élevé en Suisse et que, dans ce pays comme aux Etats-Unis, les simples citoyens savent discuter leurs intérêts avec un bon sens pratique et des aptitudes commerciales qu'on ne rencontre pas ailleurs au même degré.

Législation allemande. — L'Allemagne étant, comme on le sait, un Etat fédératif, la législation comprend d'une part des lois d'Empire et, de l'autre, des lois d'Etats particulières, applicables seulement dans l'étendue de ces Etats et qui varient plus ou moins de l'un à l'autre. Les lois d'Empire annulent, d'ailleurs, de plein droit toutes les dispositions contraires des lois particulières.

Lois d'Empire. — Bien qu'une loi générale sur les installations électriques soit prévue, il n'existe jusqu'à présent que deux lois relatives à l'électricité : la loi sur les télégraphes et la loi sur les unités électriques. Cette dernière est la même qu'en France et n'appelle aucun commentaire.

La loi sur les télégraphes, en date du 6 avril 1892, régit toute la matière des postes et télégraphes. Ceux-ci constituent une entreprise de l'Etat en Allemagne, sauf en Bavière et en Wurtemberg.

Le seul article de cette loi qui se rapporte aux distributions d'énergie est le paragraphe 12, ainsi conçu :

« Quand plusieurs installations électriques sont en présence et donnent lieu à des perturbations de l'une sur l'autre, ou que des perturbations sont à craindre, on doit les disposer de façon à faire disparaître ou éviter autant que possible toute influence réciproque aux frais de la partie qui, par une installation plus récente ou un changement plus récent, donne lieu à ces dérangements ou au danger des dérangements. »

En attendant une loi générale sur l'électricité, l'installation des établissements électriques est soumise aux prescriptions de police des Etats locaux. En Prusse, les fonctionnaires de l'administration trouvent, dans une circulaire du 16 mars 1886, l'obligation de ne délivrer pour les distributions d'électricité aucune des autorisations de voirie concernant la protection des chaussées et la sécurité de la circulation sans s'être mis préalablement d'accord avec la Direction locale des télégraphes au sujet des dispositions spéciales à prescrire dans l'intérêt de l'Administration impériale des télégraphes.

Une circulaire analogue plus récente, de 1897, du Ministre des Travaux publics indique de même aux agents chargés du contrôle des tramways électriques la façon dont ils devront consulter les directeurs supérieurs des télégraphes avant d'imposer aux concessionnaires les prescriptions nécessaires pour la protection de ce service. On remarquera que l'Administration des postes et télégraphes n'a pas le droit de traiter directement avec le concessionnaire, mais doit passer par l'intermédiaire des fonctionnaires du Ministère des Travaux publics, et que c'est à ceux-ci qu'appartient toujours le dernier mot en cas de désaccord du concessionnaire et de l'Administration des télégraphes au sujet des dispositions ou modifications demandées par celle-ci.

Pour le reste, les tramways électriques sont régis, comme les autres, par la loi générale des chemins de fer d'intérêt local (Kleinbahnen Gesetz).

Lois d'Etats. — Dans les 26 Etats confédérés, les lois sont assez variables, et on ne peut songer à les examiner toutes ; elles se rapprochent, d'ailleurs, toutes beaucoup des lois prussiennes. Ce sont ces dernières qu'on indiquera seules ici.

En Prusse, aucune autorisation ni concession des autorités n'est exigée pour l'établissement d'une installation électrique, tant qu'elle ne sort pas d'une propriété privée ou de propriétés riveraines dont les propriétaires ont traité en vue de cette occupation.

Si les canalisations empruntent la voirie de l'Etat ou d'une commune, l'autorisation des autorités de l'Etat ou de la commune est nécessaire ; elle est

Digitized by Google

accordée facilement, mais on demande ordinairement, en retour, au permissionnaire des tarifs de faveur pour l'éclairage public.

Si les conducteurs doivent traverser des lignes de chemins de fer, une permission de l'administration intéressée est également nécessaire et n'est accordée que moyennant l'observation de prescriptions spéciales que ladite administration édicte dans chaque espèce particulière.

De même, si les canalisations se trouvent au voisinage de lignes télégraphiques ou téléphoniques, l'Administration des télégraphes impose les prescriptions qu'elle juge nécessaires, et dont doivent tenir compte les administrations locales, comme on l'a vu plus haut à propos de la loi sur les télégraphes.

Après pas mal de variations, les règles dont il s'agit sont arrivées à être à peu près uniformes dans l'étendue du Royaume de Prusse.

Tant que les prescriptions des diverses administrations intéressées n'ont pas été observées, l'installation ne peut être mise en exploitation.

En ce qui concerne les règles imposées par les autorités de police pour l'installation de canalisations électriques sur les voies publiques en vue d'assurer la sécurité de la circulation, elles sont généralement empruntées aux règlements officieux, fort bien étudiés, du grand Syndicat des électriciens allemands (Verband der Deutschen Elektrotechniker) qui, dans ses réunions annuelles, les revise et les tient au courant.

On voit par ce qui précède qu'il n'existe à proprement parler, aucune législation électrique spéciale dans les Etats allemands, et que le régime des permissions y est analogue au nôtre. Il n'existe pas de contrôle organisé, mais on admet que les inspecteurs des Manufactures — *Gewerbe inspectoren* — ont le droit de pénétrer dans les usines électriques pour s'assurer si toutes les mesures nécessaires y sont prises pour assurer l'hygiène et la sécurité du personnel ; il ne semble pas qu'en pratique ils aient fait jusqu'ici usage de ce droit. La révocabilité des permissions et la nécessité de traiter à l'amiable avec les communes et les propriétaires pour l'occupation des terrains et la pose des supports donnent lieu aux mêmes difficultés qu'en France. Mais il existe une loi prussienne qui peut théoriquement permettre d'échapper au bon plaisir des voisins, c'est la loi générale d'expropriation du 11 juin 1894, qui reconnaît les entreprises d'électricité au nombre de celles qui peuvent être déclarées d'utilité publique. L'industriel qui désire obtenir cette faveur doit adresser une demande au gouverneur de la province (*Oberpraesident*) ; celui-ci instruit l'affaire et tranche la question ; l'utilité publique est ensuite déclarée par ordonnance royale accordant le droit d'expropriation.

Cette procédure est théoriquement très simple, mais en fait la déclaration est accordée difficilement ; les industriels ne s'engagent pas volontiers dans les formalités de ce genre : aussi en fait ne cite-t-on qu'un nombre insignifiant d'installations électriques ayant bénéficié en Prusse du droit d'expropriation et il en est de même dans les autres Etats, tandis que les chemins de fer ou tramways obtiennent tous facilement cette faveur.

Il n'existe qu'un texte qui accorde une protection de détail aux industriels contre les prétentions des riverains, dans le cas où ils se plaindraient de la présence d'un conducteur tendu au-dessus de leurs terrains : c'est le paragraphe 905 du nouveau code civil allemand, d'après lequel les propriétaires ne peuvent s'opposer au passage d'une canalisation sur leurs fonds s'il a lieu à une hauteur ou à une profondeur suffisante pour qu'il n'y ait pas d'intérêt à en obtenir l'enlèvement. Ce sera aux juges civils d'apprécier les circonstances dans les cas d'espèce, à partir de 1900.

La loi sur les accidents du travail, crée d'ailleurs une garantie suffisante de la sécurité des ouvriers de ces usines.

Législation italienne. — Jusqu'en 1894 la situation des distributions d'énergie en Italie était à peu près la même qu'en France. Les canalisations ne pouvaient être placées sur les propriétés des tiers qu'avec le consentement amiable des propriétaires ; mais dans certains cas, lorsqu'il s'agissait de grandes entreprises, on avait recours à une loi spéciale déclarant l'utilité publique. C'est ainsi, par exemple, qu'en 1891 le professeur Mangarini put obtenir la déclaration d'utilité publique de la transmission d'énergie de Tivoli à Rome, et exproprier ainsi pour l'établissement des poteaux une bande de terrain de 3 mètres de largeur sur 30 kilomètres de longueur dans la campagne romaine.

La situation a été complètement modifiée par la *loi du 7 juin* 1894, dite « loi pour la transmission à distance du courant électrique ». Cette loi a eu pour objet d'étendre aux canalisations électriques la législation en vigueur pour les canalisations d'eau, en particulier le droit d'imposer une servitude de passage sur les fonds des tiers en faveur des canalisations *industrielles*, c'est-à-dire des canalisations *d'énergie*, à l'exclusion des lignes télégraphiques ou téléphoniques.

« Tout propriétaire est tenu d'accorder passage aux conduites aériennes ou souterraines que désire exécuter quiconque a le droit permanent ou temporaire de s'en servir pour les usages industriels. »

On doit autoriser également le passage au-dessus des canaux, aqueducs, chemins de fer et tous travaux publics.

Ne sont exemptés de cette servitude que les maisons — (sauf les façades donnant sur la voie publique), — les cours, jardins, vergers, potagers attenants aux habitations.

En demandant ce droit de passage, on doit justifier l'utilité industrielle de l'entreprise, montrer que les dispositions projetées sont les moins défavorables possibles aux fonds à traverser. Le demandeur doit faire lui-même toutes les installations nécessaires, sauf dans le cas où elles existeraient antérieurement ; il est alors obligé de les acheter au propriétaire moyennant une juste indemnité ; enfin il doit prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter tout danger aux personnes et aux biens du fait de sa canalisation.

Avant tout commencement d'exécution, l'industriel doit accorder au propriétaire une indemnité équivalente à la dépréciation qui résultera pour sa propriété de l'établissement de la canalisation, augmentée des dommages immédiats résultant des dégâts occasionnés par les travaux et du passage des agents de l'industriel pour l'entretien et la surveillance.

Si l'occupation est limitée à neuf ans, l'indemnité relative à la dépréciation est réduite de moitié, mais l'industriel conserve le droit d'obtenir ultérieurement une prolongation indéfinie en payant la seconde moitié.

La traversée des voies publiques et l'appui sur les maisons sont soumis aux lois et règlements relatifs à la voirie et aux eaux, et d'autre part aux pres-

Digitized by Google

criptions spéciales édictées par les autorités compétentes. Le propriétaire de la canalisation doit se tenir au courant de ces règlements et s'y conformer ainsi qu'à ceux relatifs à la protection des communications télégraphiques et téléphoniques. (Règlement du 25 juillet 1892.)

Toutes les difficultés soulevées par l'exécution de la loi sont du ressort des tribunaux civils, avec procédure sommaire. Les divers propriétaires soumis à la servitude de passage pour une même entreprise peuvent associer leurs causes en une seule que juge un seul tribunal.

Cette loi du 7 juin 1894 a été complétée par un *règlement en date du 25 octobre* 1895 pris d'un commun accord par les Ministres de l'Agriculture, du Commerce et de la Justice, et approuvé par décret royal.

Ce règlement établit la procédure à suivre pour l'exercice du droit de passage et les prescriptions techniques à observer pour la sécurité des personnes et des biens.

En ce qui concerne la procédure, on doit distinguer deux cas, suivant que, dans leur parcours, les canalisations rencontrent ou non des ouvrages publics ou des lignes télégraphiques ou téléphoniques.

Dans le premier cas, l'installation doit être soumise à l'*autorisation* de l'autorité compétente, c'est-à-dire du préfet de la province si elle s'étend sur une seule provice, ou du Ministre de l'Agriculture et du Commerce dans le cas où elle embrasse plusieurs provinces.

Dans le second cas, il suffit de faire à la même autorité une simple *notification*.

Dans les deux cas, l'industriel doit fournir avec sa communication un dessin d'ensemble et une courte description de l'installation. Ces indications sont transmises au Ministre, en vue de la statistique.

Le règlement prévoit également le cas où l'industriel demandant le droit de passage aura besoin pour ses études préliminaires de pénétrer sur les fonds des tiers. Si les propriétaires lui refusent l'entrée, le préfet peut nonobstant l'accorder par un arrêté fixant la durée des opérations et prescrivant, s'il le juge à propos, le dépôt d'un cautionnement comme provision pour le payement des indemnités auxquelles donnera lieu cette occupation temporaire. La détermination de cette indemnité en cas de contestation appartient exclusivement aux tribunaux civils.

Toutes les fois qu'un industriel a ainsi recours au préfet pour obtenir soit l'occupation temporaire, soit l'autorisation mentionnée plus haut, la pièce la plus essentielle à joindre à sa demande est la justification de l'utilité de l'entreprise et des dispositions projetées pour les passages de canalisations.

En second lieu, le règlement indique les règles techniques à observer pour la sécurité publique dans l'installation des canalisations ; les unes sont générales, les autres relatives seulement aux canalisations qui rencontrent des ouvrages publics. Elles sont formulées en termes généraux, indiquant plutôt le but à atteindre que les moyens à employer. L'observation de ces règles ne supprime pas du reste la responsabilité de l'industriel.

Enfin le règlement étend à la servitude de passage des conduites électriques les dispositions du Code civil relatives aux conduites d'eau, de façon à réduire le nombre des contestations et à en faciliter la solution juridique.

Il est recommandé aux préfets de favoriser autant que possible les compromis amiables, mais sans se substituer à l'autorité judiciaire.

Informations. — *Chambéry (Haute-Savoie).* — Les difficultés rencontrées jusqu'ici par la Société des Forces Motrices du Haut-Grésivaudan qui avait assumé la tâche de doter la ville de Chambéry d'une distribution électrique puissante, sont aujourd'hui vaincues. La substitution du courant triphasé du Bréda au courant alternatif simple du Cernon n'est donc plus qu'une question de quelques jours.

Oran (Algérie). — La Compagnie du gaz de cette ville avait été récemment autorisée par la municipalité à poser dans les voies publiques des conducteurs pour la distribution de l'éclairage électrique. L'autorisation préfectorale n'ayant pas été accordée, le Conseil de préfecture a, par arrêté du 2 janvier, condamné la Compagnie à 16 fr d'amende pour chacune des 43 contraventions relevées contre elle, et par arrêté du 7 janvier, une nouvelle mise en demeure a été notifiée à la Compagnie d'avoir à enlever ses fils dans les trois jours ; de plus, par un arrêté plus récent, le Conseil de préfecture a annulé comme étant illégale l'autorisation donnée par le maire et celui-ci vient à son tour de retirer cette autorisation. Malgré ces injonctions, la Compagnie du gaz persiste à maintenir ses canalisations et à épuiser toutes les juridictions avant de se soumettre à ces arrêtés.

TRACTION

La traction électrique en Grande-Bretagne. — Le *Street Railway Journal* d'octobre dernier publiait sur ce sujet un article que résume ainsi le *Mois scientifique et industriel* :

A l'heure actuelle il y a en Grande-Bretagne 41 lignes de traction électrique ayant approximativement 500 km de voies.

Un grand nombre de nouvelles lignes sont projetées et même en construction ; cela tient à ce que les garanties offertes par la loi aux sociétés d'entreprises permettent à ces dernières de faire une opération financière dont le succès est presque toujours assuré.

L'auteur passe ensuite en revue les différentes parties afférentes à la construction d'une ligne de traction.

La voie ne nécessite en général qu'une fondation sommaire, grâce à la bonne qualité des routes. Il est d'usage de faire une fouille de 330 mm de profondeur dans laquelle on vient disposer une couche de béton de 150 mm. Les rails reposent directement sur ce béton et sont simplement entretoisés à des intervalles égaux, sans emploi de traverses.

La composition du béton est soumise à des règlements sévères.

Les rails sont en acier, du type Broca, et pèsent 50 kgr le mètre courant ; les éclisses pèsent 32 kgr la paire.

Le centrage des rails est également astreint à des règles sévères, et l'on ne tolère aucune discontinuité de courbe.

Le constructeur est parfois obligé de prévoir des égouts de vidange pour certaines parties de la voie, et ce travail entraîne des frais considérables.

Les connexions électriques des rails sont en général bien étudiées.

Les voitures sont presque toujours à impériale non recouverte. L'emploi de ce genre de voitures provient de ce que les variations de température en Grande-Bretagne sont moins accusées que dans la plupart des pays du continent. Néanmoins une faveur

Digitized by Google

L. DESRUELLES

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS, 22, rue Laugier, PARIS

VOLTS-MÈTRES & AMPÈRES-MÈTRES

APÉRIODIQUES, SANS AIMANT

Système breveté S. G. D. G. — Dispositif entièrement nouveau

Envoi franco du tarif sur demande.

Réservé à la Société Anonyme des anciens établissements

PARVILLÉE Frères et Cie

Au Capital de 1.000.000 de Francs

PORCELAINE ET FERRURES POUR L'ÉLECTRICITÉ

Siège Social, 29, rue Gauthey, PARIS

Usine à Bezons (Seine-et-Oise) — Usine à Calais (Pas-de-Calais)

ANCIENS ÉTABLISSEMENTS

RATTIER & MENIER

SOCIÉTÉ IND^lle DES TÉLÉPHONES

Constructions électriques, Caoutchouc, Câbles

Société anonyme au capital de 18,000,000 de francs

PARIS, 25, rue du 4-Septembre, PARIS

CABLES ELECTRIQUES de tous systèmes.
CABLES pour lumière (Hautes et Basses tensions).
CABLES pour transport de force.
CABLES pour traction électrique.
CABLES pour télégraphie et téléphonie, etc., etc.

Isolés au caoutchouc, isolés à la gutta-percha, isolés au papier et jute imprégnés, isolés au papier et à circulation d'air sec, sous rubans, tresses et guipages, sous plomb, sous armature de feuillards ou de fils d'acier.

APPAREILS TELEPHONIQUES système Ader et Berthon.
APPAREILS TELEGRAPHIQUES Morse, Hughes, etc.
APPAREILS ELECTRIQUES de toutes sortes, signaux de chemin de fer, avertisseurs d'incendie, etc., etc.
APPAREILLAGE pour lumière électrique, coupe-circuits, interrupteurs pour hautes et basses tensions, tableaux de distribution, etc., etc.

CAOUTCHOUC
GUTTA-PERCHA
EBONITE
BOIS DURCI
IVORINE
EBURINE

pour toutes les applications et en particulier pour l'industrie électrique.

COURROIES en caoutchouc et **COURROIES BALATA** pour dynamos et moteurs électriques.

Usine à Paris, 7, rue du Théâtre

Fournisseur de toutes les grandes Administrations en France et à l'Etranger

Usine à Paris, 2, rue des Entrepreneurs

Cie du GAZ H. RICHÉ

Société anonyme au capital de 1000.000 de francs

Paris, 28, rue Saint-Lazare

USINE D'ESSAIS ET DÉMONSTRATIONS

à LISORS (Eure)

ATELIERS DE CONSTRUCTION

15, rue Curton à Clichy

Installations complètes d'Usines à gaz économique

SYSTÈME H. RICHÉ

pour Éclairage, Chauffage et Force motrice

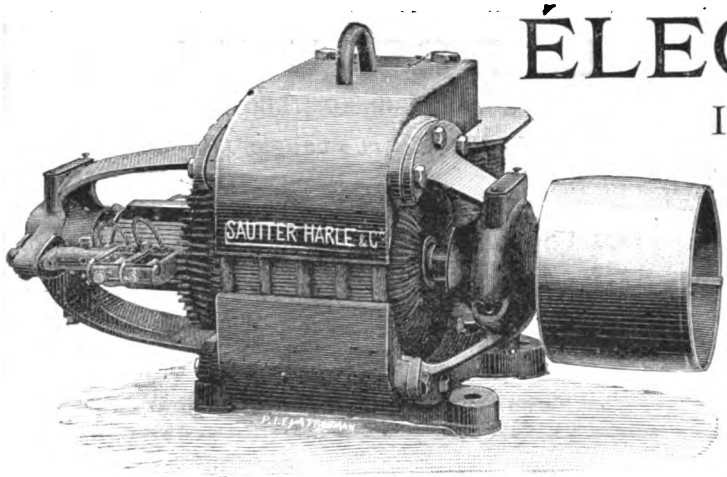
MOTEURS & MACHINES DE TOUTES MARQUES

Etudes et Devis fournis gratuitement sur demande

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : RICGAZ-PARIS

Téléphone : 259.55

Digitized by Google



ÉLECTRICITÉ
INDUSTRIELLE

DYNAMOS
De types courants et spéciaux

TRANSPORTS DE FORCE

ÉLECTROMOTEURS de toutes puissances

APPAREILS DE LEVAGE ÉLECTRIQUES

SAUTTER, HARLÉ & Cie PARIS
26, avenue de Suffren

La plus ancienne Maison de France, fondée en 1885

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

Garantie
Entretien

Types spéciaux
pour la
TRACTION

MICHEL PISCA

Bureaux
et Usine à vapeur
132 et 134, rue Marcadet
PARIS

TARIFS A PRIX RÉDUITS
Envoi franco sur demande

TÉLÉPHONE

Digitized by Google

Société anonyme pour le Travail Electrique des Métaux

CAPITAL : 1,000,000 DE FRANCS

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

Brevetés S. G. D. G. (Brevets Laurent-Cély et brevets de la Société)

Exposition de Lyon 1894. — Hors concours. membre du Jury

APPAREILS A POSTE FIXE

APPAREILS SPÉCIAUX POUR LA TRACTION ET L'ÉCLAIRAGE DES TRAINS

SIÈGE SOCIAL : 13, rue Lafayette, Paris. Téléphone n° 116-28. — USINE : 4, rue de Seine, Saint-Ouen. Téléphone n° 506-49

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : FORTRANS. PARIS

Fournisseur des Ministères de la Guerre, de la Marine, des Colonies, de l'Instruction publique, de l'Administration des Postes et des Télégraphes ; des grandes compagnies de Chemins de fer et de Tramways ; des principaux secteurs de Paris et de Province, etc., etc.

ATELIERS RUHMKORFF

J. CARPENTIER

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS — 20, rue Delambre, 20 — PARIS

APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES

Ohmmètre pour la mesure des isolements. — Wattmètres pour la vérification des compteurs. — Pyromètre électrique de M. Le Chatelier. — Installation pour la vérification des ampèremètres et voltmètres. — Appareil pour la mesure rapide des faibles résistances. — Voltmètre de précision. — Boites de résistances industrielles. — Bobines Ruhmkorff pour l'inflammation des moteurs à gaz.

ALFRED DININ E. C. P.

Fournisseur de l'État, des Ministères et des grandes Administrations

ACCUMULATEURS TRANSPORTABLES

Spécialités pour l'allumage des moteurs de voitures automobiles

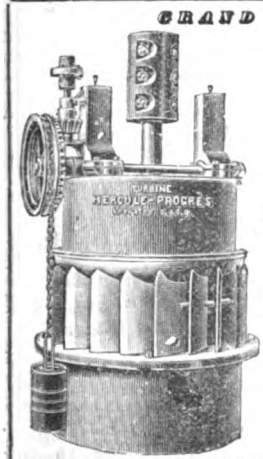
69, RUE POUCHET, 69 — PARIS — (Avenue de Clichy)

TELEPHONE 529.14

GRAND PRIX — DIPLOME D'HONNEUR — MÉDAILLES D'OR

Exposition de Bordeaux 1895 — *Hors Concours — Membre du Jury*

1897, **Médaille d'or** de la *Société d'encouragement* pour l'Industrie nationale pour perfectionnements aux turbines hydrauliques.



TURBINE HERCULE-PROGRÈS

Brevetée S. G. D. G. en France et dans tous les pays étrangers

LA SEULE BONNE POUR DÉBITS VARIABLES

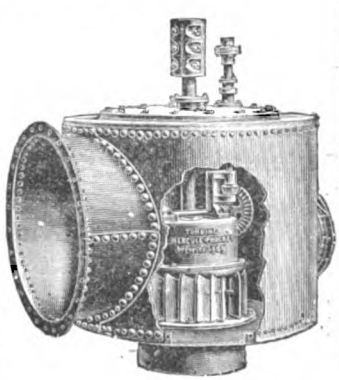
300,000 chevaux de force en fonctionnement

Supériorité reconnue pour Eclairage électrique, Transmission de force, Moulins Filatures, Tissages, Papeterie, Forges et toutes industries.

Rendement garanti au frein de 80 à 85 p. 100

Rendement obtenu avec une Turbine fournie à l'Etat français 90,4 p. 100

Nous garantissons, au frein, le rendement moyen de la Turbine « **Hercule-Progrès** » *supérieur à celui de tout autre système ou imitation, et nous nous engageons à reprendre dans les trois mois tout moteur qui ne donnerait pas ces résultats.*



AVANTAGES. — Pas de graissage. — Pas d'entretien. — Pas d'usure. — Régularité parfaite de marche. — Fonctionne noyée, même de plusieurs mètres, sans perte de rendement. — Construction simple et robuste. — Installation facile. — Prix modérés.

Toujours au moins 100 Turbines en construction ou prêtes pour expédition immédiate.

PRODUCTION ACTUELLE DES ATELIERS : **DEUX TURBINES PAR JOUR**

SINGRUN FRERES, Ingénieurs-Constructeurs à Épinal (Vosges)

RÉFÉRENCES, CIRCULAIRES ET PRIX SUR DEMANDE

Digitized by Google

Manufacture de Lampes

A Incandescence

LA NATIONALE

Marque déposée

Fabriquée par

GABRIEL ANGENAULT

Usines à PUTEAUX (Seine)

Ne pas confondre avec la Maison F. Gabriel & H. Angenault

200.000 APPAREILS EN SERVICE

Compteur d'électricité O'K'

GAZ ÉLECTRICITÉ EAU

Compagnie pour la fabrication des

COMPTEURS

et matériel d'usines à gaz

SOCIÉTÉ ANONYME, CAPITAL 7.000.000 DE FRANCS.

16 & 18, Boulevard de Vaugirard PARIS

1er PRIX AU CONCOURS DE LA VILLE DE PARIS

Compteur Thomson ordinaire.

Disjoncteur.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE

L'ACCUMULATEUR TUDOR

Société anonyme. Capital : 1.600.000 fr.

Siège social : 48, rue de la Victoire, Paris

USINES : 39 et 41, route d'Arras, LILLE

INGÉNIEURS-REPRÉSENTANTS :

ROUEN, 47, rue d'Amiens. — LYON, 106, rue de l'Hôtel-de-Ville.
NANTES, 7, rue Scribe. — TOULOUSE, 62, rue Bayard.
NANCY, 2 *bis*, rue Isabey.

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE

Tudor Paris, Tudor Lille, Tudor Rouen, Tudor Nantes, Tudor Lyon, Tudor Toulouse, Tudor Nancy.

ANCIENNE MAISON CH. MIDOZ

C. OLIVIER & Cie SUCrs

BESANÇON et ORNANS (Doubs)

CONSTRUCTION SPÉCIALE DE

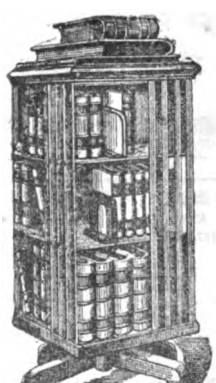
MATERIEL ELECTRIQUE

POUR ÉCLAIRAGE — TRANSPORT de FORCE et TRACTION

ENVOI FRANCO des CATALOGUES

BIBLIOTHÈQUE-TOURNANTE

TERQUEM



BIBLIOTHÈQUE-TERQUEM

APPUI-LIVRES MÉTAL

APPUI-LIVRES BOIS

Indispensable à toute personne ayant besoin d'avoir sous la main des livres usuels. Sert également de casier à musique.

MODÈLES ORDINAIRES

et de

LUXE

APPUI-LIVRES

EN BOIS ET MÉTAL

Porte-Dictionnaires, etc.

Envoi franco de l'Album illustré

Em. TERQUEM

19, Rue Scribe, 19

PARIS

Digitized by Google

marquée se fait sentir pour les voitures convertibles (fermées ou découvertes à volonté), et beaucoup de nouvelles lignes emploient ce genre de voitures.

Les fils de trôlet sont le plus souvent désaxés, et l'on recueille le courant au moyen d'un appareil spécial connu sous le nom de trôlet Blackwell.

Enfin, au point de vue des stations génératrices, l'emploi des machines à vapeur directement accouplées est maintenant exclusif.

Les deux grandes sociétés anglaises Willans et Bellis ont entrepris la fabrication de machines à faible vitesse donnant de bons résultats. P. K. B.

Notes sur la traction électrique dans diverses villes du monde. — Voir le *Supplément* du 3 février, p. 50.

Glasgow (Ecosse) possède 60 km de tramways à chevaux et 5 km de tramways électriques, la Ville possède et exploite tout le réseau. Prix 0,05 fr pour le premier demi-mille, 0,10 fr pour deux milles et 0,05 fr pour chaque mille en plus, jusqu'à 6 milles (parcours le plus long); on ne donne pas de correspondance. Il est prescrit qu'on ne peut plus prendre de voyageurs quand toutes les places assises sont occupées, mais cette prescription n'est pas suivie. Le réseau entier sera mis à l'électricité vers 1901.

Le Havre (France). — Voitures à trôlet aérien (Thomson-Houston). Prix 0,15 fr en 1re classe, 0,10 fr en 2e classe. Les voyageurs de la plate-forme d'avant paient le prix de 2e classe et ceux de la plate-forme d'arrière paient le prix de 1re classe; correspondance, 0,05 fr en plus; on n'admet pas de voyageurs en surcharge, la concession est de cinquante ans à partir de 1893, la Compagnie paie à la Ville 2 1/2 p. 100 des recettes brutes avec un minimum de 17 500 fr. (Voir *Bulletin des Lois*, n° 1741).

Kingston (Jamaïque). — Traction électrique, prix 0,20 fr par section, la Ville étant divisée en trois sections; le prix pour les trois sections est de 0,60 fr; trois places à l'avant de chaque voiture sont réservées comme première classe et le prix en est de 0,30 fr au lieu de 0,20 fr. On vend des billets à prix réduits. La concession est de trente ans. La Compagnie paie au Gouvernement 4 p. 100 des recettes brutes et entretient les rues qu'empruntent ses voies, dans un espace limité à 0,45 cm de chaque côté de la voie. Les voyageurs peuvent monter en surcharge et sur les plates-formes. Des trains de marché sont expédiés avant 9 heures du matin et après 5 heures du soir pour les gens de la campagne qui transportent leurs produits, prix 0,15 fr.

Liverpool (Angleterre). — Voitures électriques et à chevaux. Il y a aussi des lignes d'omnibus; la Ville possède toutes les lignes du réseau. Prix 0,10 fr pour chaque zone et 0,20 fr pour les trois zones, soit 6,5 km. Il est permis aux voyageurs de monter en surcharge et sur les plates-formes.

Lyon (France). — Traction électrique, traction à chevaux et à vapeur. Sur les lignes à vapeur, les locomotives traînent des trains composés de trois longues voitures. Prix, en 1re classe (sièges rembourrés) 0,20 fr, 2e classe 0,10 fr. 14 personnes peuvent monter sur la plate-forme d'avant, et le même nombre sur la plate-forme d'arrière; personne ne peut monter en surcharge. Il y a seulement une seule porte dans la voiture pour l'entrée et la sortie. La Compagnie générale des tramways paie une taxe de 80 000 fr par an, et encore 10 p. 100 sur les recettes qui dépassent 10 millions; la concession stipule les conditions de rachat par la Ville, après quarante ans. (Voir le *Bulletin des Lois*, nos 1317, 1440, 1441, 1548, 1559, 1661, 1759, 1800, 1804, 1824, 1838, 1846.)

Maracaïbo (Venezuela). — Tramways à chevaux; trois Compagnies. Prix 0,10 fr. Il est défendu aux voyageurs de se tenir debout, mais cette règle n'est pas observée. Les Compagnies ne paient rien directement ou indirectement pour leurs concessions qui ont encore cinq ans à courir.

Marseille (Bouches-du-Rhône). — Le système à trôlet aérien a été installé sur toutes les lignes, prix uniforme 0,10 fr. La Compagnie doit paver entre ses voies et 0,35 cm de chaque côté. Elle paie à la Ville une redevance annuelle. Les trains électriques ne doivent pas dépasser 36 m de long avec quatre voitures et la vitesse est limitée à 20 km à l'heure, la concession expire en 1950. (Voir le *Bulletin des Lois*, nos 1357, 1480, 1934, 2001. L'auteur américain donne une analyse des conventions et des cahiers des charges : les uns et les autres ne présentent rien de bien différent des types généralement admis chez nous.)

Mexico (Mexique). — Voitures traînées par des mules. Les voitures du service suburbain sont plus grandes : elles sont traînées par les mules jusqu'aux faubourgs seulement et là une petite locomotive les prend pour les conduire à destination. La Compagnie se prépare à substituer la traction électrique à la traction animale, mais conservera les lignes à vapeur. Les prix dans la Ville sont 0,25 fr et 0,30 fr suivant la distance; les prix pour le service suburbain sont 0,60 fr et 1,50 fr. On permet aux voyageurs de monter en surcharge et sur la plate-forme d'arrière; on n'autorise pas à monter sur la plate-forme d'avant.

Munich (Allemagne). — Voitures électriques à vapeur et à chevaux; toutes les lignes sont possédées par la Ville, prix 0,125 fr à 0,30 fr pour les voitures à chevaux suivant la distance. Il n'est pas permis aux voyageurs de monter en surcharge, mais un nombre fixé peut se tenir sur chaque plate-forme.

Naples (Italie). — Voitures à chevaux et voitures électriques à trôlet, prix 0,10 fr sur deux sièges à l'arrière, 0,15 fr sur des sièges rembourrés, 0,10 fr pour se tenir debout sur la plate-forme d'avant, 0,15 fr sur la plate-forme d'arrière. La Compagnie a une concession de cinquante ans, elle paie un certain pour cent à la Ville sur ses bénéfices nets.

Paris. — 33 lignes d'omnibus traînés par deux chevaux (26 à 30 places), 14 lignes d'omnibus traînés par trois chevaux (40 places), 3 lignes de tramways à vapeur, 23 lignes de tramways à chevaux, 4 lignes de tramways à air comprimé ou électrique. Toutes les lignes dépendent d'une seule Compagnie dont le monopole date de 1860 et expire en 1910. En 1896 les lignes d'omnibus ont transporté 129 000 000 voyageurs, le total des voyageurs transportés ayant été de 240 000 000 pour toutes les lignes. Les voitures sont toutes à impériale. Prix à l'intérieur, 0,30 fr donnant le droit à un ticket de correspondance; prix sur l'impériale et éventuellement sur les plates-formes 0,15 fr. On n'autorise pas les voyageurs en surcharge.

Prague (Autriche). — Tramways électriques et tramways à chevaux. Les lignes sont la propriété de la Ville. Prix 0,10 fr. Les voyageurs peuvent monter en surcharge et sur la plate-forme.

Digitized by Google

Reims (France). — Tramways à chevaux, on est en train d'y substituer la traction électrique. Prix 0,15 fr en 1re classe, 0,20 fr en 2e classe, 0,05 fr en plus pour une correspondance. Le nombre de voyageurs par voiture est fixé par le règlement. La concession expire en 1945. (Voir *Bulletin des Lois*, n° 1497.)

Saint-Pétersbourg (Russie). — Tramways à chevaux : voie simple. La ligne principale a été acquise par la Ville en septembre 1898 et est exploitée par elle avec bénéfice ; la Ville a engagé des pourparlers pour obtenir la rétrocession d'autres lignes quand la traction électrique sera installée. Les voitures sont à impériale ; prix 0,125 fr et 0,15 fr. Il y a une douzaine de lignes, mais on ne donne pas de correspondances ; il est permis aux voyageurs de monter en surcharge et sur les plates-formes. Les voitures ralentissent, mais s'arrêtent rarement pour permettre aux voyageurs de monter ou de descendre.

Stockholm (Suède). — Tramways à chevaux et à vapeur, prix 0,14 fr ; 6 personnes peuvent se tenir sur la plate-forme d'avant, 6 sur la plate-forme d'arrière et 10 à l'intérieur. La concession de la Compagnie est de quarante ans à partir de 1869 ; la Compagnie paie une redevance de 5 p. 100 sur son revenu.

Stuttgart (Allemagne). — Traction électrique. L'énergie électrique est fournie par une Compagnie séparée d'éclairage électrique. Prix 0,125 fr à 0,30 fr suivant la distance ; le nombre des voyageurs est limité, mais on fait des exceptions en cas d'orage, après le théâtre, pour la dernière voiture de la nuit, etc. La Compagnie paie à la Ville 2 1/2 p. 100 des recettes brutes.

Sydney (Australie). — Traction électrique, à vapeur et funiculaire. Toutes les lignes sont possédées et exploitées par le Gouvernement des Nouvelles Galles du Sud. Prix 0,10 fr par mille. Les règlements au sujet de la surcharge ne sont pas appliqués.

Tegucigalpa (Honduras). — Il n'y a pas de tramways dans la région et seulement un chemin de fer de 24 km de long.

Toronto (Canada). — Traction électrique. Prix 0,25 fr, et après minuit 0,50 fr. 6 billets pour 1,25 fr ou 25 billets pour 5 fr. Billets valables de 6 heures à 8 h. 30 du matin et de 5 heures à 6 h. 30 du soir : 8 pour 0,75 fr. Billets du dimanche : 7 pour 0,75 fr. Billets pour les enfants qui vont à l'école : 10 pour 0,75 fr. Pour les enfants au-dessous de neuf ans et non portés dans les bras, demi-place. Les voyageurs peuvent monter en surcharge et sur les plates-formes. La concession est donnée pour vingt ans et peut être prorogée de dix ans. La Compagnie paie à la Ville une redevance annuelle de 4 000 fr pour chaque mille de voie simple, elle paie encore 8 p. 100 des recettes brutes jusqu'à 5 millions et 10 p. 100 au-dessus de 5 millions. La Compagnie doit aussi payer un impôt sur ses usines, bâtiments, poteaux, etc., mais non sur la voie.

Informations. — *Alger.* — Il vient d'être ouvert une enquête d'un mois sur l'avant-projet présenté par les communes d'Alger et de Mustapha, en vue de l'établissement d'une ligne de tramways ayant son origine à la ligne de l'Hôpital du Dey à la Colonne-Voiral et aboutissant à l'extrémité du boulevard Bru.

Angoulême (*Charente*). — Le décret de déclaration d'utilité publique de l'établissement d'un réseau de tramways dans cette ville vient d'être rendu ; les travaux déjà commencés sont très activement poussés. L'inauguration des premières lignes se fera vers Pâques.

Bordeaux (*Gironde*). — A la suite du désir exprimé par la Municipalité, la Compagnie Française des tramways électriques et omnibus de Bordeaux vient de proposer à la Ville la rédaction suivante de la Convention spéciale annexée au traité de rétrocession :

1° La clause de la convention dont il s'agit, prévoyant le versement à la Caisse des retraites au nom de chaque agent du personnel, de 8 p. 100 du montant du salaire constitués par une retenue de 2 p. 100 sur le salaire mensuel de l'agent et une contribution de 6 p. 100 à la charge de la Compagnie serait appliquée à compter du 1er janvier prochain ;

2° Les dispositions de la convention concernant la limitation des heures de travail et le minimum de salaire seraient appliquées — au fur et à mesure de la mise en service de la traction électrique sur les lignes transformées — au personnel employé sur ces lignes.

3° Par contre, la ville de Bordeaux renoncerait à toutes réclamations contre la Compagnie à raison des retards qu'elle considérait comme lui étant imputables dans le commencement d'exploitation du système électrique prévu par l'article 1er du traité de rétrocession comme devant avoir lieu le 1er septembre 1899, pourvu que la Compagnie soit en mesure de *commencer l'exploitation électrique le 1er février 1900*, sur les deux premières lignes transformées par elle.

L'administration municipale a examiné ces propositions et les a acceptées en principe.

Jussy (Aisne). — Nous signalions récemment (t. XXII, p. XLV) le projet d'établissement d'un tramway électrique reliant les gares de Montescourt et de Flavy-le-Martel en passant par Jussy. Dans sa dernière séance, le Conseil municipal de Jussy a déclaré M. Georges Desson, ingénieur-électricien à Saint-Quentin, concessionnaire de l'établissement d'une station centrale devant non seulement desservir ce tramway mais encore distribuer l'énergie électrique dans un rayon de 5 km, desservir des grues électriques aux communes comprises pour le service du port de Jussy, enfin assurer le halage des bateaux au moyen de tracteurs électriques.

Nîmes (*Gard*). — Un réseau de tramways électriques est en construction dans cette ville. L'usine génératrice est installée dans les dépendances de la station centrale Ferranti, fondée il y a une dizaine d'années pour l'éclairage de la ville.

Une ligne circulaire faisant le tour de la ville réunit entre eux les différents tronçons desservant la banlieue ; parmi ces tronçons, citons une ligne suivant le chemin de Montpellier et une autre sur la route de Beaucaire. Le réseau est en partie installé ; la ligne des boulevards contournant les Arènes et la Maison Carrée, fonctionne depuis peu de jours.

Le Raincy (*S.-O.*). — La voie du tramway à trôlet aérien qui réunit la gare du Raincy à Montfermeil va être doublée ; le décret d'utilité publique a été signé récemment.

TÉLÉGRAPHIE

Un nouveau câble entre la France et l'Angleterre sera bientôt posé par la Anglo-American Telegraphe Company. Sa longueur sera de 128 km ; son point d'atterrissement sur la côte

Digitized by Google

française sera dans le voisinage du Hâvre. La commande vient d'en être faite à la Télégraph Construction and Maintenance Company.

Câble transpacifique « tout anglais ». — Depuis bien des années il est question de réunir les côtes occidentales de l'Amérique à l'Australie par un câble desservant en même temps quelques-unes des plus importantes îles de l'Océanie. Il semble que la solution ne doive pas tarder et parmi les projets qui sont actuellement en présence il en est deux qui méritent particulièrement l'attention : l'un dit du « câble tout anglais » en raison de ce que tous ses points d'atterrissement se trouveraient sur le territoire de l'Empire anglais ; l'autre proposé par les américains depuis qu'ils se sont offert le luxe d'avoir des colonies et que pour une raison semblable on appelle « câble tout américain ». Nous reviendrons bientôt sur ce dernier projet qui est actuellement l'objet de nombreuses discussions aux Etats-Unis. Pour le moment nous donnerons quelques détails sur le câble tout anglais d'après les rapports et procès verbaux de la Commission du câble du Pacifique publiés récemment dans le *Recueil des documents parlementaires du Royaume Uni* et que les *Annales télégraphiques* reproduisent en partie dans la dernière livraison parue (t. XXV, p. 331-361).

La nomination de la commission remonte au 2 juin 1896 ; elle est composée de six membres : deux représentant l'Angleterre, deux autres le Canada, le cinquième la Nouvelle-Galles du Sud, le sixième l'Etat de Victoria. Son rapport a été déposé le 5 janvier 1897 ; il examine successivement les points suivants :

1° *Possibilité.* — Au point de vue technique personne ne discute la possibilité de réaliser le projet en cause bien que la profondeur à laquelle le câble sera immergé (probablement plus de 5 500 m en certains points) soit beaucoup plus grande que les profondeurs atteintes jusqu'ici dans l'immersion des câbles.

2° *Route.* — La commission recommande que l'on fasse partir le câble de l'île de Vancouver, en l'acheminant par l'île Fanning ou par l'île Palmyra, puis Fiji et l'île Norfolk, puis de ce dernier point des embranchements seraient créés vers le Queensland et la Nouvelle Zélande. Elle reconnaît qu'il serait plus avantageux de faire passer le câble par les îles Hawaï et non par l'île Fanning ou l'île Palmyra ; mais cet itinéraire impliquerait une dérogation au principe consistant à fixer en territoire britannique tos les points d'atterrissement.

Par la route préconisée, en faisant entrer en ligne dn compte un mou de 10 p. 100, le câble présenterait un développement d'environ 7 986 milles marins (de 1854 m), la plus grande section, celle de Vancouver à l'île Fanning, ayant 3 561 milles.

La liaison entre Vancouver et l'Europe pourrait s'effectuer de deux manières : *a*) par une compagnie de câbles américaine (Commercial câble) ayant toutes ses stations sur territoire britannique et prenant contact avec un réseau terrestre établi sur territoire

Téléphone 160-33 **Hy RUCK** Téléphone 160-33

24, rue des Petites-Écuries, 24 (Mon H. Verger)

ISOLANTS ÉLECTRIQUES : MICANITE, EMPIRE ET MICA INSALUTOR Co COMPOUND

Toutes pièces en micanite sur demande

SPÉCIALITÉ DE LAMES EN MICA COMPOSÉ

Agent de H. W. JOHN'S Mfng Cy pour le Vulcabeston et Mica moulé

MATÉRIEL AÉRIEN ET D'ISOLATION DE TRAMWAY

CHAUFFAGE DES TRAMWAYS PAR L'ÉLECTRICITÉ

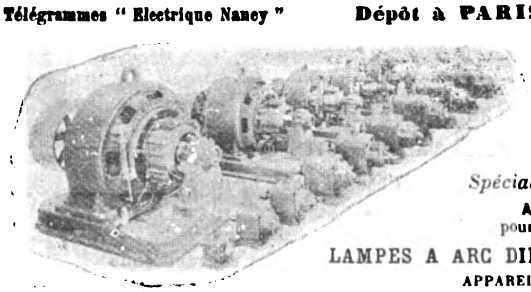
Électrotherms — Chauffage électrique pour habitations

FIBRE VULCANISÉE EN FEUILLES DE TOUTES ÉPAISSEURS EN STOCK TUBES & BAGUETTES

COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE

NANCY — Rue Oberlin

Télégrammes " Electrique Nancy " Dépôt à PARIS : 47, rue Le Peletier Téléphone avec Paris.



DYNAMOS ET ÉLECTROMOTEURS

A COURANT CONTINU

ALTERNATEURS ET MOTEURS

Monophasés et polyphasés

TRANSFORMATEURS, TRACTION ÉLECTRIQUE

Spécialité de dynamos de grandes puissances pour accouplement direct

ACCUMULATEURS système POLLAK stationnaires et transportables pour voitures électriques et éclairage des voitures de chemin de fer.

LAMPES A ARC DIFFÉRENTIELLES pour courants continus et alternatifs.

APPAREILS DE MESURE, AMPÈREMÈTRES, VOLTMÈTRES, ETC.

INSTALLATIONS COMPLÈTES DE TRANSPORTS DE FORCE ET D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

STATIONS CENTRALES

Digitized by Google

Radiographie ✱ *Radioscopie*

NOUVEAU TRANSFORMATEUR A HAUTE TENSION

BREVETÉ S. G. D. G. (FRANCE ET ÉTRANGER)

TÉLÉPHONE 523-62 — **O. ROCHEFORT** — Rue Capron, 4 PARIS

INGÉNIEUR DES ARTS & MANUFACTURES

TRANSFORMATEURS ORDINAIRES, INTENSIFS, UNIPOLAIRES

Ces transformateurs à haute tension peuvent remplacer dans tous les cas les bobines de Rhumkorff, avec une consommation d'électricité **cinq fois moindre.**

Interrupteur à mercure oscillant à mouvement rectiligne par guide liquide (Breveté S. G. D. G.)

INTERRUPTEUR CUIVRE SUR CUIVRE

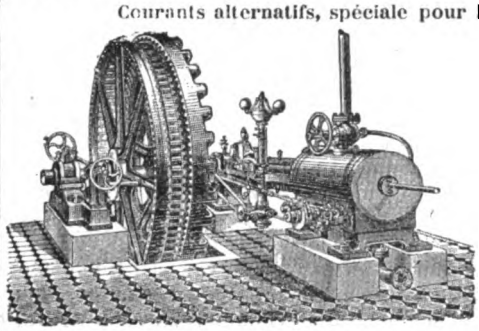
Installation complète pour Laboratoires de Radiographie et Radioscopie médicales

Catalogue franco sur demande.

Transformateurs, Compteurs, etc.

NOUVELLE DYNAMO-VOLANT

Courants alternatifs, spéciale pour **les éclairages de villes et à longues distances**



Compagnie Électrique O. PATIN

9, rue du Château, Puteaux (Seine).

La maison vient d'établir un nouveau type de DYNAMOS s'attelant directement sur le moteur et remplaçant le volant

Vitesse : 120 tours et 60 tours seulement par minute.

Sécurité remarquable, par suite de la suppression des transmissions, cordes et courroies.

STATIONS CENTRALES ÉTABLIES AVEC LE MATÉRIEL DE LA MAISON

Paris (station municipale des Halles au concours), Nancy, Rothel, le Havre, Troyes, Sens, Melun, Nimes, Cannes, Auxerre, Dijon (nouvelle usine), Poitiers (nouvelle usine), Saint-Céré, Saint-Jean-de-Royan, Revel, Auterive, Vierzon : *Représentant* 183.000 *lampes installées en* 3 *ans.*

Machines et Moteurs à courants continus, Machines triphasées, etc.

Tramways électriques.

COMPAGNIE ÉLECTRIQUE PARISIENNE

Siège social : 44, rue du Louvre

BUREAUX ET ATELIERS

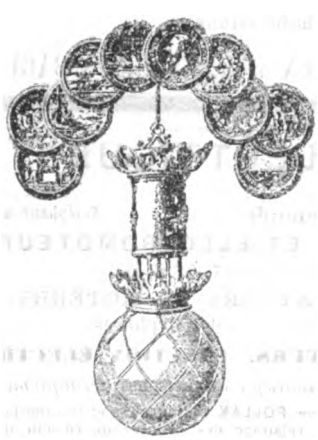
23, avenue Parmentier, 23

LAMPES A ARC PERFECTIONNÉES, MODÈLES 1898-99

PLUS DE **15.000** VENDUES

Lampes pouvant marcher par 3 en tension sur 110 volts

Brevets KLOSTERMANN



FOURNISSEURS

DES MINISTÈRES DE LA GUERRE ET DE LA MARINE

DES ARSENAUX, DES STATIONS CENTRALES

DES GRANDS ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS

Catalogue franco sur demande. Téléphone 900-28

GÉNÉRATEURS TURGAN

Brevetés en France et à l'Étranger.

CIRCULATION DE L'EAU PARFAITEMENT GUIDÉE

Niveau d'eau absolument fixe

PRODUCTION INTENSE DE VAPEUR SÈCHE

SUPPRESSION DES ENTRAINEMENTS D'EAU

Tubes droits individuellement démontables et aisément nettoyables sans démontage.

MARINES
de Guerre et de Commerce

GÉNÉRATEURS FIXES

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

AUTOMOBILES

TRAMWAYS

ENCOMBREMENTS
POIDS TRÈS RÉDUITS

Chauffage aux hydrocarbures.

VOITURES AUTOMOBILES A VAPEUR

Renseignements sur demande

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

28 bis, *rue des Arts.* — *Levallois Perret.*

Digitized by Google

britannique, exploité par une société britannique (Canadian Pacific Railway); *b*) ou par des compagnies de câbles, soit britanniques, soit américaines, ayant des stations sur territoire britannique ou américain et reliées à un réseau terrestre et établi, pour la plus grande partie, sur territoire américain.

3° *Prix de revient.* — Il dépend nécessairement de la vitesse de transmission que l'on se propose d'atteindre, les poids de cuivre et de gutta dépendant de cette vitesse. Comme d'ailleurs la vitesse de transmission sur toute la ligne se trouve commandée par celle de la section la plus longue, c'est la vitesse sur cette section que la commission a pris comme base de ses calculs.

D'après les appréciations des spécialistes (Muirhead, Preece, Siemens, Lord Kelvin) la vitesse de transmission théorique serait de 63 à 95 lettres par minute suivant le type de câble employé (552 livres de 454 gr de cuivre et 368 livres de gutta par mille ou 650 livres de cuivre et 400 livres de gutta par mille). En se basant sur les résultats de l'exploitation des autres câbles la Commission réduit de 33 p. 100 la vitesse théorique pour avoir le nombre des lettres *payantes*; elle admet donc 40 lettres comme vitesse de transmission pratique avec le premier type de câble et 48 lettres comme vitesse du second câble. Le nombre des heures de travail étant évalué à 18 par jour et le nombre de jours à 360 par an, on trouve que le premier câble pourra transmettre annuellement 1 620 000 et le second 1 944 000 mots de cinq lettres.

En prenant pour la plus longue section le câble du premier type, les frais d'établissement et d'entretien pendant les six premiers mois peuvent être évalués, d'après une offre de la India Rubber Gutta Percha and Telegraph Works C°, à 1 5000 000 liv. st. (37 500 000 fr.). En prenant le câble du second type la dépense s'élèverait à 2 000000 liv. st. (50 000 000 r.).

Les frais annuels d'exploitation proprement dits sont evalués à 17 000 liv. st.; ceux de l'administration centrale à 5000 liv. st.; soit en tout 22 000 liv. st. (540 000 fr.). L'entretien est évalué à 40 000 liv. st. (qui correspond au remplacement de la totalité du câble en 40 ans); les frais fixes des deux navires chargés des réparations seraient de 30 000 liv. st. En comptant l'amortissement de manière à reconstituer le capital dans un délai de 50 ans, on arrive à une dépense annuelle qui est de 144 887, 147 561, 155 464 ou 158 673 liv. st. suivant le type de câble choisi et suivant que l'intérêt est compté à 2,5 ou 2,75 p. 100.

4. *Recettes.* — Pour établir les recettes probables la commission a estimé qu'en 1896 le trafic par le câble transpacifique aurait été de 750 000 mots, chiffre compris entre la moitié et le tiers des mots échangés pendant cette année entre l'Australie et l'Europe par les voies existantes; elle a en outre admis un accroissement annuel de 10 p. 100. La taxe actuelle étant de 4 sh 9 d par mot (6,25 fr environ), et les frais de transit entre l'Angleterre et Vancouver étant de 1 sh 6 d, la recette du câble serait, aux tarifs actuels, de 3 sh 3 d par mot (4,07 environ). Dans ces conditions, les recettes probables eussent atteint 109 807 liv st en 1900, et atteindraient 146 153 liv st en 1903; les recettes couvriraient donc les dépenses à partir de 1903.

5. *Propriété.* — La commission, tout en reconnaissant les avantages qu'offre l'exploitation par une compagnie privée, est d'avis que pour ce câble, dont les frais d'établissement sont trop considérables pour pouvoir être supportés par une compagnie, il est préférable que le câble soit la propriété et soit exploité par les gouvernements intéressés.

6. *Administration.* — La direction générale devrait être attribuée à un directeur en résidence à Londres, assisté d'un conseil peu nombreux.

7. *Contrat.* — La Commission est d'avis que le contrat devrait prévoir l'établissement de deux câbles dans le plus prochain délai. Les frais d'exploitation ne seraient guère augmentés et l'exploitation ne serait pas à la merci d'une interruption.

Navire télégraphique allemand. — Le 9 novembre dernier, on a fait à Glasgow, l'essai du premier navire télégraphique allemand.

Ce bâtiment qui portera le nom du Secrétaire d'État des Postes de l'empire, *Von Podbielski*, a été construit dans les chantiers de M. David J. Dunlop, à Port-Glasgow. Construit tout en acier Siemens-Martin, d'après les règles du Lloyd allemand, ce

EXPLOITATION DES PROCÉDÉS ÉLECTRIQUES WALKER
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 600,000 FRANCS
RAPIDITÉ TRAMWAYS ELECTRIQUES ÉCONOMIE
MOTEURS
MOTEURS
MOTEURS
MOTEURS
SUSPENSION SPÉCIALE

pour TRAMWAYS
pour METROPOLITAINS
pour APPAREILS de LEVAGE
pour POMPES
PARIS, 6, rue Boudreau, PARIS
DYNAMOS, GÉNÉRATRICES POUR ÉCLAIRAGE, TRACTION, TRANSPORT DE FORCE

ACCUMULATEUR pour Voitures Électriques
18, Quai de Clichy
CLICHY (Seine)
TÉLÉPHONE : 511.86
FULMEN

Digitized by Google

E. DUCRETET

CONSTRUCTEUR

PARIS, 75, rue Claude-Bernard, PARIS

GRANDS PRIX aux Expositions Universelles
Paris 1889, Anvers 1894, Bruxelles 1897.

APPAREILS DE **MESURES ÉLECTRIQUES**

Conjoncteur-disjoncteur FÉRY
pour la charge automatique des *Accumulateurs*

Appareil pour la mesure de l'isolement des conducteurs et circuits

Chercheur de pôles de E. D.

LUNETTE PYROMÉTRIQUE de MM. Mesuré et Nouel

PYROMÈTRE
ordinaire ou enregistreur avec couple *Le Châtelier*

PHOTOMÈTRES INDUSTRIELS

Bobines d'induction pour MOTEURS A GAZ

MATÉRIEL COMPLET POUR LES **RAYONS X**

TÉLÉGRAPHIE HERTZIENNE SANS FIL
Haute fréquence — Résonateur Dr OUDIN

Machines de Wimshurst et accessoires

COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ BLONDLOT

(Notices et Tarifs illustrés, en vente)

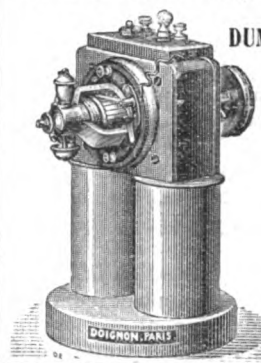
ACCUMULATEURS E. PEYRUSSON

Brevetés S. G. D. G.
Diplôme d'honneur, Bordeaux, 1895
GINDRE, DUCHAVANY & Cie, Constructeurs
18, quai de Retz, LYON

Accumulateurs à formation Planté. — Grande surface. — Faible densité de courant dans les grands débits. — Supportent mieux que tous autres des régimes excessifs. — Forme rayonnante et séparation absolue des électrodes rendant impossible tout court-circuit intérieur.

DOIGNON, INGÉN.-CONST.

SUCCESSEUR DE
DUMOULIN, FROMENT & DOIGNON

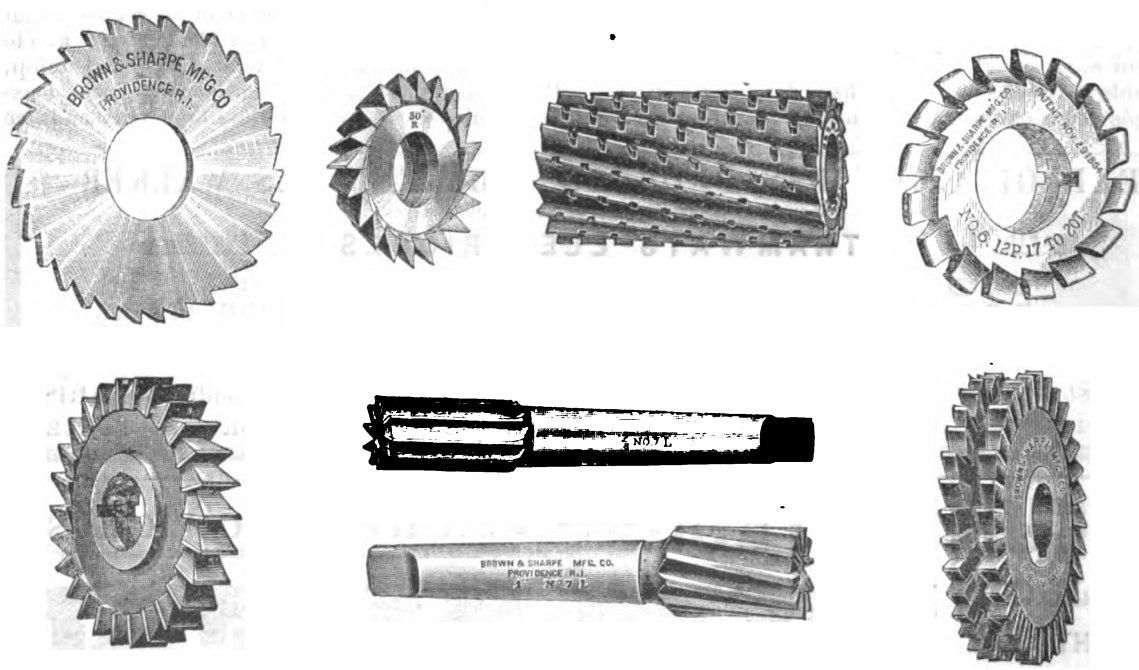


Appareils Télégraphiques
PETITS MOTEURS
Petites Dynamos
BOUSSOLES OU COMPAS
de Marine

85, rue N.-D.-des-Champs

3 *MÉDAILLES D'OR*
EXPOSITION DE 1889

FRAISES " BROWN & SHARPE "



FENWICK Frères & C°, *21, Rue Martel, PARIS*

vapeur mesure 77,7 m de longueur et 10,7 m de largeur.

A charge normale son tirant d'eau est de 5,5 m. Il est muni de deux hélices qui sont mises en rotation par deux machines d'une force totale de 1 600 chevaux et lui donnent une vitesse de 13 nœuds ; sa capacité de chargement est d'environ 1 300 tonnes.

L'équipage se compose d'environ 70 hommes, y compris 20 électriciens et ouvriers pour les câbles.

Le navire est pourvu de trois cuves qui peuvent contenir environ 1 100 km de câble de mer profonde. Il est éclairé à l'électricité et possède un puissant réflecteur.

La téléphonie interurbaine en Italie se développe rapidement. Récemment nous signalions en même temps que nous donnions la carte des villes actuellement reliées téléphoniquement, le projet d'extension proposé par le ministre des Postes et Télégraphes et adopté par le Parlement (voir *Écl. Élect.*, t. XX, p. 519, 30 septembre 1899). Aujourd'hui nous apprenons qu'une concession de 25 ans a été accordée à une compagnie privée pour l'installation de lignes reliant Prata, Pistira, Arezzo, Siena et Pise. Des réseaux urbains seront en même temps installés dans les trois premières de ces villes.

Eric Telephone System. — Les quelques chiffres qui suivent montrent avec quelle rapidité s'étendent les réseaux téléphoniques américains.

Pendant le mois de décembre le Eric telephone system a relié à son réseau 3 972 abonnés, ce qui porte le nombre des abonnés reliés au 31 décembre dernier à 106 564. Pendant l'année écoulée les abonnés nouveaux ont été de 43 714 soit 69,55 p. 100 du nombre des abonnés au 1er janvier 1899. Les directeurs de la compagnie, ne voyant aucune raison pour que cet accroissement s'arrête, espèrent voir le nombre des abonnés dépasser 150 000 à la fin de l'année.

BIBLIOGRAPHIE

Machines à vapeur et machines thermiques diverses, par **J. Dejust**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Répétiteur à l'École centrale. Un vol. gr. in-16 de 600 pages, avec 407 fig. Bibliothèque du Conducteur de travaux publics. *Veuve Ch. Dunod*, éditeur. Prix, broché, 15 fr.

L'an dernier à pareille époque (*Supplément* du 11 janvier) nous signalions la publication d'un ouvrage du même auteur, *Chaudières à vapeur ;* celui qui nous occupe aujourd'hui en est la suite et le complément nécessaires.

Les qualités que nous avions rencontrées dans le premier de ces ouvrages, nous les avons retrouvées dans le second : simplicité et indication des calculs strictement indispensables dans la partie théorique : exposé méthodique dans la partie descriptive. Cette manière de traiter le sujet, déjà fort difficile à effectuer dans un ouvrage traitant des appareils producteurs de vapeur, rencontrait dans sa réalisation des difficultés plus grandes encore

MÉDAILLE D'OR à l'Exposition universelle, Paris 1889.
HORS CONCOURS, Chicago 1893, Bucarest 1894.
DIPLOME D'HONNEUR, Amsterdam 1895.
CROIX DE LA LÉGION D'HONNEUR, Bruxelles, 1897.

Applications générales de l'électricité. — Sonneries. — Télégraphie. — Téléphonie. — Acoustique. — Lumière électrique. — **Piles Leclanché**, brev. s. g. d. g., médailles à toutes les expositions. — Nouvelle pile agglomérée **Leclanché-Barbier**, brev. s. g. d. g., modèle à liquide et modèle sec. — Nouveau sel excitateur spécial, brev. s. g. d. g., évitant les cristaux. — Concession exclusive des procédés **Raoul Guérin**, brev. s. g. d. g., pour l'immobilisation du liquide des piles par l'Agar-Agar.

Anc. Maison E. Barbier, LECLANCHÉ et Cie
158, rue Cardinet. 116, rue Truffaut. 105, rue Nollet. PARIS

Appareillage spécial pour Tensions jusqu'à 500 Volts

LUSTRERIE

VENTILATEURS

Téléphones

Supports
Interrupteurs
Coupe-circuit, etc.

The General Electric Co Ld

AGENT GÉNÉRAL :
LUCIEN ESPIR
11 *bis*, rue de Maubeuge, — PARIS

USINES DE PERSAN-BEAUMONT (Seine-et-Oise)
CAOUTCHOUC GUTTA-PERCHA, CABLES ET FILS ÉLECTRIQUES

The INDIA RUBBER, GUTTA-PERCHA & TELEGRAPH WORKS C° (Limited)

FOURNISSEUR du Minist. des Post. et Tél.

97, Boulevard Sébastopol, PARIS

USINES A PERSAN-BEAUMONT (S.-et-O.) et SILVERTOWN (Angleterre).

MEDAILLES D'OR Expos. univ. 1878-81-89

Câbles pour lumière électrique et transport de force, à haute et basse tension.
Bacs ébonite pour accumulateurs, etc., etc.

1R C

Fils cuivre isolés pour électro-aimants et dynamos.
Fils pour sonneries et téléphones.
Câbles télégraphiques, aériens, souterrains, sous-marins.

Envoi de Tarifs franco sur demande.

Digitized by Google

lorsqu'il s'agissait d'un sujet aussi touffu et aussi étendu que celui des moteurs thermiques On ne saurait trop louer l'auteur de s'en être tiré à son honneur.

Trois parties constituent les divisions principales de l'ouvrage; ce sont : Généralités sur les machines à vapeur (Historique et notions de thermodynamique) ; Machines à vapeur ; Machines thermiques employant un autre intermédiaire que la vapeur d'eau.

Nécessairement c'est la partie intermédiaire qui forme la majeure portion de l'ouvrage. Elle ne comprend pas moins de onze chapitres. Dans le premier, l'auteur, après avoir donné une idée générale du fonctionnement d'une machine à vapeur, montre comment on détermine les dimensions du cylindre d'une machine à cylindre unique. Les deux suivants font connaître les divers organes d'une telle machine. L'étude de la distribution et de la détente dans les machines à plusieurs cylindres fait suite. Après vient l'étude de la condensation ; puis celles des moteurs ayant à accomplir des travaux d'un genre particulier : locomobiles, machines-outils, servo-moteurs, machines pour marteau-pilon, etc. Parmi les derniers chapitres de cette partie, signalons encore les deux où sont étudiées les machines oscillantes et les machines rotatives.

La troisième partie de l'ouvrage traite des moteurs à air chaud, des moteurs à gaz et des moteurs à pétrole.

Tous les ouvrages de la Bibliothèque du Conducteur de travaux publics se terminent par des renseignements pratiques fort intéressants pour les lecteurs auxquels s'adressent les livres de cette bibliothèque. Nous trouvons dans celui-ci, un programme et un cahier des charges relatifs à une adjudication de machines pour élévation d'eau et à une adjudication de la fourniture des huiles, graisses, etc., des indications sur la façon dont doivent être faits les essais de réception ainsi que sur la surveillance et l'entretien des machines.

Les *Machines à vapeur* constituent donc avec les *Chaudières* à vapeur un Traité complet des appareils à vapeur qui ne peut manquer de rendre service à ceux, tous les jours plus nombreux, qui ont besoin de connaître d'une manière assez approfondie le fonctionnement de ces appareils. J. R.

Problèmes sur l'électricité, par **Robert Weber** (3e édition). Un vol. petit in-8° de 402 pages. *Ch. Béranger, suc. de Baudry et Cie,* éditeur. Prix, broché, 6 fr.

Édité pour la première fois en 1888, ce recueil est bien connu de ceux qui ont charge d'enseigner l'électricité et le tirage de trois éditions montre qu'il est apprécié par ceux qui ont à l'apprendre et pour qui il a été écrit. Bien que la première édition contint un nombre déjà respectable d'exercices, exactement 559, ce nombre fut porté à 683 dans la seconde édition et l'édition qui a été mise en vente il y a quelques semaines n'en contient pas moins de 746. D'ailleurs il n'y a pas eu seulement augmentation, il y a eu aussi revision du texte; en outre, un index alphabétique permettant de trouver rapidement les exercices se rapportant à un sujet particulier, a été ajouté. Ces quelques améliorations ne peuvent manquer d'apporter à cette nouvelle édition le succès qu'ont eu les précédentes.

Quant au choix des exercices, il nous a toujours paru être parfaitement approprié au but que se propose l'auteur : initier peu à peu le lecteur qui débute dans l'étude de l'électricité à résoudre les questions qui se présentent dans l'application de cette science. Les problèmes sont en effet bien gradués, méthodiquement classés et les conditions indiquées dans leurs énoncés se rapprochent le plus possible de celles fournies par l'expérience et la pratique. Nous avons parfois entendu reprocher à quelques-uns de ces problèmes de donner lieu à une solution trop facile ; mais si c'est là un inconvénient, peu grave d'ailleurs, pour certains lecteurs, ce peut être pour d'autres un avantage. Aussi considérons-nous sans restriction l'ouvrage de M. Weber comme un excellent complément aux ouvrages classiques sur l'électricité et le magnétisme et le considérons-nous comme des plus utiles aux élèves qui désirent se familiariser avec les applications de ces deux branches de la physique.

COMPTOIR-PHOTO-PRATIQUE

Appareils Photographiques et Produits irréprochables

GRANDES FACILITÉS DE PAIEMENT

Pour **toutes les** commandes d'appareils accompagnées de leur montant intégral il est accordé un escompte de caisse de 5 p. 100

Toutes les Expéditions sont faites franco de port et d'emballage quelle qu'en soit l'importance.

Envoi gratis et **franco** de notre **Catalogue général illustré** ainsi que de notre " **Traité de Photographie** " renfermant environ 300 formules, à tout lecteur de **L'Éclairage Électrique** qui nous en adressera la demande.

• Adresse : PHOTO-PRATIQUE, Asnières (Seine)

"Caligraph"

SEULE MACHINE A ÉCRIRE RAPIDE

Médaille d'Or, *Paris* 1889

Diplôme d'Honneur, *Paris* 1891

FENWICK FRÈRES & Co

17, rue de Paradis, 17

PARIS

HOURY & Cie

MANUFACTURE GÉNÉRALE DE

CABLES & FILS NUS & ISOLÉS

POUR

Toutes les Applications de l'Électricité

ADMINISTRATION : *60, Rue de Provence* | USINES : *Rue Pelleport, 110*

— PARIS —

Catalogues et Échantillons franco sur demande.

Digitized by Google

Tome XXII Samedi 3 Mars 1900. 7e Année. — N° 9.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

La reproduction des articles de L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE est interdite.

SOMMAIRE

Pages

J. GUILLAUME. — Sur l'emploi de l'aluminium pour les canalisations électriques 321

G. RICHARD. — Applications mécaniques de l'électricité.
Installations minières de Cripple Creek. Sur la commande des presses d'imprimerie par l'électricité. Pompes électriques de la Nouvelle-Orléans. Pompe à incendie Whiting. Coupe-circuits automatiques Wright et Aalborg. 328

A. BAINVILLE. — Accumulateurs pour automobiles électriques : Le concours international de l'Automobile-Club.
Accumulateur Lagarde. Accumulateur Phœnix. Accumulateur Tudor. Accumulateur Hathaway. Accumulateur Wuste et Ruprecht 336

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

Génération : Sur la marche en parallèle des alternateurs, par G. Benischke. 343
Génératrices polymorphiques, par A.-D. Adams 347
Traction électrique : Projet d'installation de traction électrique sur les lignes de chemins de fer urbaines de Berlin. 349
Dispositif Siemens et Halske pour voitures à trôlet et à accumulateurs. 353
Frein à courants de Foucault pour moteurs de tramways. 354
Recherches théoriques : Conductibilité calorifique, conductibilité électrique, chaleur spécifique et pouvoir thermoélectrique de quelques métaux, par W. Jæger et H. Diesselhorst. 355
Courants de convection et chute de potentiel aux électrodes provoqués par les rayons X, par J. Zeleny. 359
Expériences de diffraction et détermination de la longueur d'onde des rayons de Rœntgen, par M. Maier. 359

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

Disparition instantanée de la polarisation rotatoire magnétique, par H. Abraham et J. Lemoine. 360
Rapport entre la variation d'excitation des nerfs et la variation de densité de courants excitateurs à différents potentiels, par Stéphane Leduc 360

SUPPLÉMENT

Association amicale des Ingénieurs électriciens. — **Génération et distribution :** Station centrale de Bonn. Usine génératrice hydro-électrique de Masséna. — Législation étrangère des distributions d'énergie. — **Applications mécaniques :** Vigie sous-marine Orrechioni. CI
Brevets d'invention récemment publiés. CX

FALCONNET, PÉRODEAUD & Cie

MANUFACTURE GÉNÉRALE DE CAOUTCHOUC ET GUTTA-PERCHA

Usines et siège social à CHOISY-LE-ROI (Seine)

Dépôts : à Paris, avenue Percier, 6, et à Marseille, cours Lieutaud, 129

CAOUTCHOUC SOUPLE ET DURCI

POUR TOUS USAGES INDUSTRIELS

ÉBONITE SPÉCIAL POUR BACS D'ACCUS

ÉBONITE en PLANCHES, en TUBES, en BATON, noir et rouge

Digitized by Google

NOUVELLES ET ÉCHOS

Association amicale des Ingénieurs électriciens. — *Assemblée générale du* 30 *janvier* 1900). — L'assemblée est présidée par M. E. Sartiaux, président.

Présents : MM. Solignac, Lainnet, Courtois, Boisserand, Nelson-Uhry, A. Cance, Pellissier, Bancelin, Blondin, G. Richard, Brocq, Meyer-May, H. Fontaine, Isbert, Eschivège, Hamm, Boistel, de la Valette, Robard, de la Mathe, Planzol, Bailleux, J. Laffargue.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Isbert, trésorier, rend compte de la situation financière. Les comptes sont approuvés par acclamation.

M. le Président demande à l'assemblée de fixer la cotisation pour 1900. La cotisation est maintenue à 20 fr.

M. le Président parle ensuite du fonctionnement de l'Association pendant l'année 1899 et rappelle en quelques mots l'historique de l'Association. De vifs applaudissements accueillent les paroles de M. Sartiaux.

M. le Président propose de voter une somme de 150 fr au Laboratoire central d'électricité en lui demandant d'entreprendre des recherches sur divers sujets déterminés qui seront à fixer.

M. H. Fontaine propose une somme de 500 fr.

M. Courtois demande des études sur les résistances liquides.

M. de la Valette fait observer qu'il serait préférable d'étudier des questions d'intérêt général.

M. Eschivège ajoute que la somme demandée a pour but seulement de participer à une série d'essais qui ont déjà été demandés et acceptés par diverses sociétés.

M. Blondin propose que l'Association imite la Société d'encouragement et pose diverses questions. Des récompenses seront accordées aux auteurs des meilleures solutions.

M. le Président lui répond qu'il s'agit là d'un concours, et que ce n'est pas le but actuellement recherché.

M. H. Fontaine ajoute que la Société d'encouragement s'occupe de ces questions et est toute disposée à mettre des sujets au concours.

M. Meyer-May demande que l'on vote simplement le principe de demande d'essais au Laboratoire. Le bureau est chargé de l'étude de ce programme.

M. Robard demande que chaque collègue envoie ses desiderata au bureau.

La somme de 500 fr mise aux voix est votée.

M. le Président annonce la démission de M. de Nansouty, qui est acceptée à regret.

M. Mascart a écrit à M. Sartiaux pour lui demander la participation de l'Association au congrès des électriciens.

M. le Président fait connaître qu'il a aussitôt répondu en acceptant.

M. le Président dit que l'ordre du jour appelle l'élection du bureau.

Sur la proposition de M. Solignac, le bureau est maintenu par acclamation.

Président : M. E. Sartiaux ;

Vice-présidents : MM. Meyer, Loppé ;

Secrétaires : MM. Isbert, Bardon, Meyer-May, Leblanc, Robard, Laffargue.

M. le Président a reçu de M. Nelson-Uhry, un travail qui sera publié dans le Bulletin.

M. le Président annonce qu'il a reçu de M. Guilbert une proposition exposant l'intérêt qu'il y aurait pour l'Association à rédiger un cahier des charges type pour les essais à faire subir aux différents appareils pour la production ou l'utilisation de l'énergie électrique. Ce cahier des charges exige dans sa rédaction diverses conditions où le concours des membres de l'Association serait très utile.

M. de la Valette ajoute que ce cahier des charges devrait également s'appliquer aux matières premières.

Il est décidé que cette intéressante question sera examinée et traitée dans une prochaine réunion.

M. le Président parle de l'Association des anciens élèves de l'École supérieure d'Electricité. Après diverses observations, l'assemblée décide que les membres qui désireront venir dans notre Association demanderont leur admission et que l'assemblée statuera comme elle le fait actuellement. A ce propos,

EXPLOITATION DES PROCÉDÉS ÉLECTRIQUES WALKER
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 600,000 FRANCS
RAPIDITÉ TRAMWAYS ELECTRIQUES ÉCONOMIE
MOTEURS MOTEURS MOTEURS MOTEURS
SUSPENSION SPÉCIALE

pour TRAMWAYS
pour METROPOLITAINS
pour APPAREILS de LEVAGE
pour POMPES
PARIS, 6, rue Boudreau, PARIS
DYNAMOS, GÉNÉRATRICES POUR ÉCLAIRAGE, TRACTION, TRANSPORT DE FORCE

APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE
VEDOVELLI et PRIESTLEY, 160-162, rue Saint-Charles, PARIS
MATÉRIEL DE TRACTION AÉRIEN ET SOUTERRAIN

Digitized by Google

Société anonyme pour le Travail Electrique des Métaux

CAPITAL : 1,000,000 DE FRANCS

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

Brevetés S. G. D. G. (Brevets Laurent-Cély et brevets de la Société)

Exposition de Lyon 1894. — Hors concours. membre du Jury

APPAREILS A POSTE FIXE

APPAREILS SPÉCIAUX POUR LA TRACTION ET L'ÉCLAIRAGE DES TRAINS

SIÈGE SOCIAL : 13, rue Lafayette, Paris. Téléphone n° 116-28. — USINE : 4, rue de Seine, Saint-Ouen. Téléphone n° 506-49

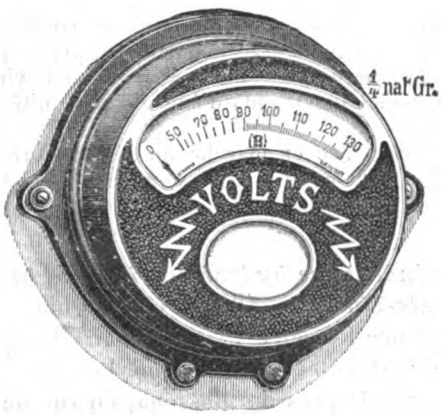
ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : FORTRANS. PARIS

Fournisseur des Ministères de la Guerre, de la Marine, des Colonies, de l'Instruction publique, de l'Administration des Postes et des Télégraphes ; des grandes compagnies de Chemins de fer et de Tramways ; des principaux secteurs de Paris et de Province, etc., etc.

RICHARD CH. HELLER & Cie

18, Cité Trévise, PARIS — Téléphone 160-58

REPRÉSENTANTS ET CONCESSIONNAIRES DE



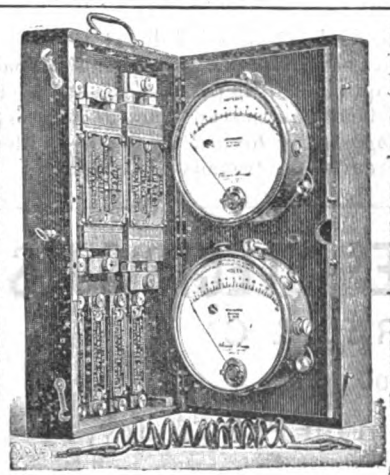
HARTMANN & BRAUN

La plus importante fabrique d'instruments de mesures électriques

Voltmètres, Ampèremètres électro-magnétiques, thermiques, etc.
Wattmètres, Ohmmètres, Enregistreurs, Compteurs,
Galvanomètres, Boîtes de résistances, Photomètres, etc., etc.

Demander le nouveau prix courant des Ampèremètres et Voltmètres industriels simplifiés, en boîte de fonte élégante, cliché ci-contre.

CAISSE DE CONTROLE



pour mesures de pompes de précision.

CHAUVIN & ARNOUX

Appareils pour mesures électriques

Ingénieurs-Constructeurs

PARIS

186, *rue Championnet*

à sensibilité variable.

ENREGISTREURS

ALFRED DININ E. C. P.

Fournisseur de l'État, des Ministères et des grandes Administrations

ACCUMULATEURS TRANSPORTABLES

Spécialités pour l'allumage des moteurs de voitures automobiles

69, RUE POUCHET, 69 — PARIS — (Avenue de Clichy)

TÉLÉPHONE 529.14

Digitized by Google

M. H. Fontaine fait observer qu'il est bon de limiter le nombre des membres de l'Association et de ne pas ouvrir les portes trop grandement.

M. Eschivège parle de l'intérêt qu'il y aurait à organiser un service de demandes et d'offres d'emploi dans l'Association, qui au besoin se mettrait en relations avec les autres sociétés semblables. Le bureau examinera la question.

La séance est levée à 2 heures.

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Station centrale de Bonn. — Dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 7 décembre 1899 (t. XX, p. 850), M. P. Bauer donne une description très complète de la station centrale de Bonn. Nous ne décrirons ici que le système de distribution :

Celui-ci est à courant continu à 3 fils ; le conducteur neutre est nu et placé en terre, la tension d'utilisation est 2×220 volts entre les conducteurs extérieurs constitués par câbles souterrains ; une batterie d'accumulateurs assure le service dans le cas de faible charge.

La réalisation de ce système exige naturellement que les lampes à incandescence à 220 volts, présentent la même dépense d'énergie et la même durée que celles à 110, conditions remplies dès le début de 1898.

Comme d'autre part, l'élévation de tension n'apporte aucune difficulté au point de vue des appareils d'utilisation et d'installation, on voit que rien ne s'oppose à l'exécution de ce système.

Le réseau de distribution est assez étendu et l'on ne pouvait faire cette installation en continu que par l'emploi du système 2×220 volts, car, par ce moyen, pour une charge économique des câbles, et environ le même capital pour ces câbles que pour le système 2×110 volts, on peut doubler le réseau d'utilisation.

Théoriquement, avec le système 2×220 volts le poids de cuivre nécessaire pour transporter une puissance donnée à une distance déterminée, avec la même perte de tension en p. 100, n'est que le quart de celui nécessaire avec le système 2×110 volts, tant pour les feeders que pour les lignes de distribution.

Pratiquement, le coût d'un réseau souterrain à 2×220 volts n'est que la moitié ou les $\frac{2}{3}$ du coût d'un même réseau à 2×110 volts.

A cette importante économie réalisée sur les frais d'installation, on peut ajouter un avantage énorme du système 2×220 volts : c'est qu'il permet d'employer une machine soit pour la lumière, soit pour la traction, car les dynamos sont toujours établies pour donner une tension de 500 à 600 volts, pour compenser les pertes de tension dans les feeders, ou permettre la charge des batteries d'accumulateurs.

Ce cas n'est naturellement pas possible avec le câble neutre nu, car on formerait court-circuit entre ce câble et les rails.

Un inconvénient du système est l'obligation où l'on se trouve de placer 4 lampes à arc normales en série ; cet inconvénient est en partie supprimé par l'emploi de lampes à 110 volts avec arc dans le vide, lampes qui consomment plus d'énergie par unité de lumière.

L'installation, mise en marche au début de 1899, s'est jusqu'ici bien comportée, y compris les installations intérieures.

Usine génératrice hydroélectrique de Masséna (Etats-Unis). — Une compagnie, La Saint Lawrence Power C°, vient de faire l'acquisition de vastes terrains de 800 hectares de superficie, situés près de Masséna, en vue de la construction d'usines auxquelles l'énergie serait transmise électriquement d'une usine génératrice d'une puissance de 40 000 chevaux, avec accroissement possible jusqu'à 150 000 chevaux.

Cette station, dit le *Génie Civil* du 24 février, est située sur le Grasse River, un des affluents du Saint-Laurent, l'eau qui fournit la puissance motrice étant dérivée de ce fleuve au moyen d'un canal. C'est ce canal dont l'*Engineering Record* du 6 janvier décrit plus particulièrement les travaux d'exécution.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES CABLES ÉLECTRIQUES

Système BERTHOUD, BOREL & Cie

Société anonyme au capital de **1.300.000** *francs.*

Siège social et Usine à Lyon : 11, Chemin du Pré-Gaudry,

CABLES ÉLECTRIQUES SOUS PLOMB, POUR BASSES ET HAUTES TENSIONS

Transports de force, Tramways, Lumière, Télégraphie, Mines, etc., etc.

Fournisseurs du Secteur des Champs Élysées à Paris, de la Société des Forces motrices du Rhône à Lyon et des villes de Limoges, Le Havre, Châlons-sur-Saône. Dieppe, Cognac, Pau, Amiens, etc.

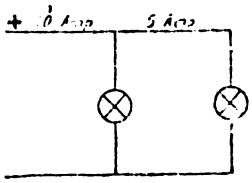
Digitized by Google

LAMPES à arc JANDUS EN VASE CLOS

Économie dans les Canalisations

LAMPES JANDUS sous **110** volts

Pas de résistance dans le circuit



Installation de 2 Lampes de 5 ampères

AVANTAGES :

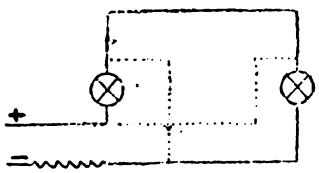
Commande indépendante des foyers
Simplicité de montage
Jamais de réglage
Jamais de collages

LÉGENDE

Lampe. — Ligne négative.
Résistance. + Ligne positive.
o Dérivateur

REMPLACEMENT

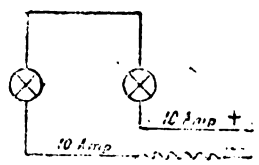
de deux anciennes Lampes par deux Lampes JANDUS



Sans modifier la canalisation existante

Anciennes **LAMPES** en Série sous **110** volts

Avec résistance obligée

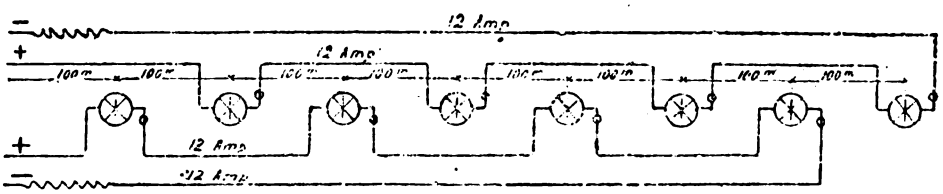


Installation de 2 Lampes de 10 ampères

INCONVÉNIENTS :

Conducteurs plus forts et plus pesants
Différence d'intensité des foyers
Dépense horaire variable
Collages occasionnels

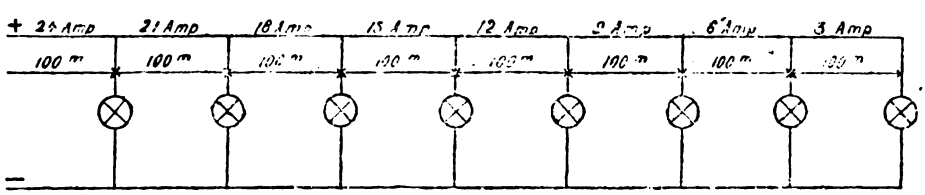
ANCIENNES LAMPES en SÉRIE : 2 groupes de 12 AMPÈRES — 220 volts



Canalisation de 3.000 mètres pesant 335 kg en fil nu (1 amp. par mm²), nécessitant la dépense supplémentaire de 2 rhéostats, 8 dérivateurs automatiques la commande par groupes de 4 lampes.

Consommation : 660 watts par lampe. — DURÉE : 8-16 HEURES

LAMPES JANDUS en dérivation 3 AMPÈRES — 220 Volts



Canalisation de 1.600 mètres pesant 193 kg en fil nu (1 amp. par mm²), complète sans aucune dépense supplémentaire à prévoir, avec commande possible de chaque foyer distinctement

Consommation : 660 watts par lampe. — DURÉE : 120-130 HEURES

Pour Catalogues et Renseignements complémentaires écrire à la **Cie des Lampes à Arc JANDUS**, 35, rue de Bagnolet
Magasin de détail : 9, rue des Mathurins, PARIS

Digitized by Google

Ce canal a une longueur de 4940 m; sa section mouillée est de 630 m². Pour un débit maximum de 786 m³ par seconde, la vitesse du courant de l'eau sera inférieure à 1,35 par seconde. L'exécution de ce canal exige l'enlèvement d'environ 6 millions de mètres cubes de terre, argile et gravier; elle comprend deux tranchées importantes : la première a une longueur de 686 m, et une profondeur maximum de 24,40 m; le volume des déblais correspondants est de 815 000 m³; la seconde à 762 m de longueur, 25,90 m de profondeur maximum et représente 405 000 m³ de déblais, la largeur de canal au plan d'eau étant de 80 m, et de 61 m au plafond pour une profondeur de 7,60 m. Les talus mouillés sont à 1 : 1 1/2; les talus à sec à 1 : 1.

Le fond du canal, à son point le plus bas, est à 18,30 m au-dessus du niveau ordinaire des eaux du Grasse River, qui servira de canal de fuite à l'usine. Celle-ci aura 214 m de longueur, 23 m de largeur et 26 m de hauteur; elle sera construite tout en béton. Elle comprendra, à l'origine, 8 unités de 5 000 chevaux chacune, les turbines jumelles et la dynamo étant montées sur le même arbre horizontal.

Législation étrangère des distributions d'énergie. (Voir *Supplément* du 24 février, p. LXXXVIII.)

Législation anglaise. — En Angleterre, la situation légale des distributions d'énergie électrique est régie par les deux lois de l'éclairage électrique, *Electric lighting acts de* 1882 *et* 1888, la seconde amendant la première. Malgré leur titre limité, il est admis par le Parlement que cette législation s'applique également à tous les usages privés de l'énergie et par conséquent à la distribution de la force motrice.

En vertu de cette législation, les entreprises d'électricité peuvent être autorisées de trois façons différentes :

1° Par une *autorisation simple* (« licence ») accordée par le Board of Trade, pour une période de 7 ans, renouvelable;

2° Par une *concession* (« Provisional Order »), soumis à l'approbation du Parlement, dont la durée normale est de 42 ans, sauf disposition contraire (voir plus bas);

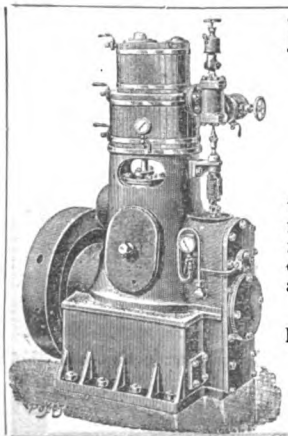
3° Par une *loi spéciale* (« Act ») présentée directement au Parlement par les représentants des intéressés ou par le Board of Trade.

Il est spécifié que les « licences » et « orders » peuvent être accordés à toute « autorité locale » (commune, comté, commission des routes, commission sanitaire, etc.), à toute compagnie ou à tout particulier qui en fera la demande. Mais, en cas de compétition, c'est toujours l'autorité locale que l'on préfère.

Pour une licence, le consentement des autorités locales est nécessaire; pour une concession (« order ») le Board of Trade peut passer outre à leur opposition; mais en fait il ne le fait jamais et préfère retrancher de la concession tout le territoire qui est sous la dépendance de l'autorité locale qui refuse son consentement.

En fait les trois formes d'autorisation indiquées ci-dessus sont très loin d'être également pratiquées. D'une part, le Parlement refuse en général de faire des bills spéciaux pour ces entreprises et, par suite, d'en déclarer l'utilité publique; d'autre part, le Board

RESULTATS CONSTATÉS SUR 15.000 DYNAMOS
L'usure de Collecteurs est nulle,
les Dynamos ne s'échauffent pas,
La Lumière beaucoup plus intense,
plus grande durée que tous
les autres systèmes.
Le Meilleur Balai Électrique
EN TOILE VISSÉE S. G. D. G.
Résistent à une force
de 1.200 ampères sans avoir
l'inconvénient de se souder comme les
balais en clinquant.
J. MIZERY, 25, rue Amelot, PARIS


MACHINES A VAPEUR A GRANDE VITESSE "B. L."
à double effet et à graissage automatique sous pression
BREVETÉ S. G. D. G. EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER
(Voir description dans notre numéro du 9 septembre 1899.)
Construction française de 1er ordre; ces machines sont un progrès pour toutes industries. — Pas de contact métallique des organes; marche absolument silencieuse. — Usure rigoureusement nulle après plusieurs années de marche. — Rendement mécanique exceptionnel. — Consommation de vapeur et d'huile par cheval au frein et prix moindres à puissance égale qu'avec toute autre machine. — Se construit simple, double, triple et quadruple expansion.
Dynamos à vapeur à rendement maximum; attaque directe des ventilateurs pompe centrifuges, etc.
TÉLÉPHONE 213.86
(RÉFÉRENCES DE PREMIER ORDRE)
Ateliers de construction BOULTE, LARBODIÈRE et Cie
Siège social : 20, rue Taitbout, Paris. Ateliers à Aubervilliers (Seine).

Digitized by Google

of Trade décourage systématiquement les demandeurs de licence. Aussi depuis 1888 ne compte-t-on qu'un bill accordé dans des conditions tout à fait exceptionnelles, et 25 licences, contre 316 « provisional orders ».

On peut donc considérer le « provisional order » comme la véritable forme légale actuelle de l'autorisation des distributions d'énergie en Angleterre.

La procédure des provisional orders est fixée par un règlement spécial du Board of Trade, qui, d'après « l'Electric lighting act », a le droit de le modifier lorsqu'il le juge utile. Les demandes rédigées conformément à ces règles doivent être déposées au Board of Trade avant le 1er juin de chaque année. Le Board of Trade prépare plusieurs « orders » pour les demandes dont l'instruction peut être terminée avant le 1er juillet et les réunit dans un seul projet de loi, qui est alors soumis au Parlement. Si l'une des concessions soulève l'opposition de quelque compagnie ou particulier, il peut être attaqué devant le Parlement et la question est tranchée par un comité. Ces oppositions sont rares, et l'approbation se réduit en général à une simple formalité.

Une fois approuvé, le provisional order constitue la charte de l'entreprise et confère au concessionnaire les droits d'exploitation les plus étendus : en particulier les droits de faire tous achats amiables, travaux, acquisitions de brevets, etc., nécessaires pour la distribution ; mais *en aucun cas il n'obtient le droit d'expropriation*. Pour éviter de lui rendre les acquisitions de terrain trop onéreuses, le Broard of Trade a soin de ne pas indiquer dans le provisional order les fonds qu'il aura besoin d'occuper.

Les pouvoirs de police sont délégués au Board of Trade par la loi. C'est le Ministre qui édicte les règlements techniques destinés à assurer le bon fonctionnement. Il a coutume dans ce but de publier d'abord des règles d'essai, « draft rules », sur lesquelles il appelle la discussion des électriciens ; il convoque officieusement les plus marquants d'entre eux à venir en conférer, et les modifie, s'il y a lieu, après discussion. C'est ainsi qu'ont été rédigés définitivement les divers règlements, établis depuis quelques années pour les distributions d'énergie aériennes et souterraines et pour les tramways. Dans des cas particuliers, le Board of Trade peut d'ailleurs toujours faire un règlement spécial qu'il insère dans le « provisional order ». Les règlements actuels, qui datent de 1896, comprennent quatre types très peu différents, suivant qu'il s'agit de Londres ou de la province, d'une compagnie privée ou d'une autorité locale.

Les « autorités locales » conservent d'autre part (mais sans jamais s'en servir en fait) le droit d'imposer elles-mêmes sur leur territoire toutes autres prescriptions qu'elles jugeraient nécessaires, à condition qu'elles soient approuvées par le Board of Trade et publiées sous la forme qu'il indique.

La législation des entreprises d'éclairage au gaz (Gas work clauses Act, 1847) est étendue en partie aux entreprises électriques. La législation sanitaire (Public health Act, 1875) contient également les dispositions applicables au point de vue de la *sécurité publique* ; l'acte complémentaire de 1890 ayant accordé aux autorités municipales le droit d'édicter, sous réserve de l'approbation par le Board of Trade, des prescriptions pour la protection du public en ce qui concerne l'installation des poteaux, conducteurs, etc., sur les voies publiques, le Board of Trade a rédigé un règlement-type qui est adopté par un grand nombre de villes.

Le comité de Londres a reçu d'autre part des pouvoirs analogues d'une loi spéciale (« London overhead wires Act », 1891) et a fait en conséquence avec l'approbation ministérielle un règlement spécial pour les canalisations aériennes.

L'ouverture ou les canalisations de chaussées, voies de chemin de fer, voies de tramways, etc., ne peuvent avoir lieu qu'avec l'autorisation de l'autorité locale ou de la Compagnie intéressée, à moins d'autorisation du Board of Trade donnée après avoir entendu les parties intéressées.

De même, les canalisations *aériennes* ne sont admises le long ou au-dessus des voies publiques qu'avec le consentement des autorités locales. Cette permission reste toujours précaire et révocable aux frais du permissionnaire ; elle est soumise d'autre part à des conditions sévères de la part du Board of Trade, qui cherche à décourager les concessionnaires de ce mode de transmission. En outre, les tribunaux de simple police reçoivent de la loi le droit d'ordonner sommairement l'enlèvement de toute canalisation aérienne lorsqu'ils la jugent dangereuse pour la sécurité publique. Dans de pareilles conditions, ce système si favorable aux grandes entreprises de transmission de force par l'électricité, n'a pu se répandre en Angleterre, et on n'estime pas la puissance transmise par fils aériens à plus de 5 p. 100 de la puissance totale distribuée dans ce pays.

Le concessionnaire peut, si cela est nécessaire, déplacer les conduites ou canalisations d'autres concessionnaires ou autorités publiques, placées sous la voie publique, et réciproquement, moyennant un accord amiable, ou par un arbitrage dans les conditions prescrites par le Board of Trade.

En retour de l'autorisation que lui confère le *Provisional Order*, il y a obligation pour le concessionnaire de fournir de l'énergie à quiconque en demande dans l'étendue de la concession et à des prix équitables pour tous les consommateurs. Le prix maximum de l'unité est fixé par le Board of Trade dans l'*Order* : mais le chiffre actuel est tellement élevé — 2 fr par kilowatt-heure — que ce maximum est illusoire ; il est question de l'abaisser et d'indiquer pour chaque cas des échelles de tarifs maximum mieux proportionnées. La publication du compte d'exploitation y remédie, comme on le verra plus loin.

Le concessionnaire ne doit causer aucun préjudice aux lignes télégraphiques et téléphoniques.

Les prescriptions relatives à cette protection sont indiquées dans l'*Electric Lighting Act* et dans le *Telegraph Act* de 1878.

Le législateur s'est préoccupé de favoriser l'exploitation des distributions d'énergie par les « autorités locales », particulièrement les corporations municipales. Aussi la loi fixe-t-elle les conditions dans lesquelles elles peuvent se procurer les ressources nécessaires, soit par l'impôt, soit par des emprunts gagés par l'impôt.

En outre, la loi accorde à ces « autorités locales » un *droit de rachat* total ou partiel au prix actuel de l'installation, au bout d'un délai que fixe le *Provisional Order*. Ce délai était, au début, de 21 ans ; l'Act de 1888 en a porté la durée normale à 42 ans ; mais le Board of Trade est par exemple pour faire courir le délai de 42 ans à partir de 1889 pour tous les secteurs de Londres, même les plus récents, de façon à unifier la date du rachat par le Comité de Londres.

Une fois le délai atteint, la concession peut encore, avec le consentement de l'autorité locale, être prolongée d'une ou plusieurs périodes de sept années.

Digitized by Google

L'évaluation des frais de rachat est faite à l'amiable, ou, dans le cas de désaccord, par un expert arbitre nommé par le Board of Trade.

Modifications prévues a cette législation. — Comme on le voit, la législation précédente exclut absolument tout droit d'expropriation; elle ne permet même pas aux autorités locales de donner des permissions de voirie aux concessionnaires sans une autorisation expresse insérée dans le *Provisional Order*.

Le motif principal de cette défiance semble être surtout dans la forme des Sociétés d'électricité, qui sont généralement des Sociétés anonymes « limited » tandis que le Parlement n'accorde en règle générale le droit d'expropriation, par exemple pour les chemins de fer, qu'à des Sociétés incorporées « incorporated » sur lesquelles il a un droit de contrôle assez étendu. Il n'accordera le droit d'expropriation aux entreprises électriques dans une législation nouvelle qu'à condition qu'elles modifient leur forme légale dans ce sens.

Quant à une décentralisation enlevant au Parlement son intervention directe dans les concessions d'électricité, elle peut être appuyée sur des antécédents assez importants : les lois sanitaires, et surtout la loi toute récente des chemins de fer d'intérêt local (« Light Railways »). Cette dernière a délégué au « Board of Trade » tous les pouvoirs nécessaires pour accorder les concessions et le droit d'expropriation pour ces entreprises; il n'y aurait aucun motif pour ne pas lui accorder de même les pouvoirs de conférer dans les « Provisional Orders » le droit d'expropriation dans des conditions bien définies et avec approbation nécessaire du Parlement.

Il semble probable qu'une modification de la législation aura lieu prochainement dans ce sens. En effet, à la suite de différentes demandes présentées par diverses Compagnies au Parlement, en vue d'obtenir le droit d'expropriation dans leurs entreprises, notamment pour la concession d'une gigantesque distribution d'électricité aux environs des mines de charbon du centre de l'Angleterre, les deux Chambres ont soumis l'ensemble de la question à l'étude préparatoire d'une Commission interparlementaire (« Joint Select Comittee »). Celle-ci, dans la dernière session, a interrogé les représentants de nombreuses Compagnies d'électricité et de municipalités exploitant elles-mêmes, et divers spécialistes.

Ce comité a conclu que l'intérêt public évident des distributions d'énergie justifie et rend désirable l'octroi à ces entreprises du droit d'expropriation, qu'il y a lieu de modifier la loi en vue de permettre d'insérer ce droit dans les « Provisional Orders »; que la nouvelle loi fixera la procédure des enquêtes.

Ce droit s'étendrait même à l'expropriation de terrains pour l'usine et les canalisations en dehors du district desservi par la distribution; la concession donnerait également le droit au concessionnaire d'ouvrir les chaussées qui seront réparées à ses frais.

D'autre part, le comité a été d'avis de ne laisser le droit de *veto* pour l'emploi du fil aérien, en ce qui concerne les tramways, qu'aux conseils de comité, et non plus, comme aujourd'hui, à toutes les « autorités locales ». Enfin il a accepté en principe qu'une concession pourrait être accordée aux entreprises de distribution à grand rayon sur un territoire très étendu, embrassant les districts de plusieurs « autorités locales », nonobstant les concessions antérieures auxquelles la nouvelle entreprise viendra faire concurrence. Cette question était délicate à cause du droit de rachat des autorités locales et de la concurrence à craindre pour beaucoup d'entreprises municipales. Mais le comité a estimé que les grandes entreprises dont il s'agit feront surtout de la « *vente en gros* », si l'on peut employer cette expression, et que leur réseau à haute tension ne fera pas double emploi avec les réseaux à basses tensions des installations existantes; le droit de rachat aurait d'ailleurs peu d'intérêt pour des réseaux de ce genre, dont chaque district ne comprend qu'une faible partie.

Tramways. — Dans ce qui précède, on n'a pas parlé des tramways électriques en Angleterre. Pour ces entreprises, les concessions font l'objet de lois spéciales qui leur accordent le droit d'expropriation, même pour la construction de l'usine génératrice. Il y a là une inégalité de traitement frappante.

Le « Board of Trade » est chargé d'édicter les règlements techniques généraux ou spéciaux à chaque entreprise.

Contrôle des installations. — En principe, le contrôle technique de toutes les distributions d'électricité appartient au « Board of Trade »; dans les cas intéressants, tels que la réception des réseaux de tramways ou de transmission à haute tension, le « Board » envoie sur place son ingénieur-conseil; mais, comme il manque de personnel, il délègue la plupart du temps le contrôle aux autorités locales, qui l'exercent déjà en ce qui les concerne par un personnel d'inspecteurs.

Publication de comptes et bilans des Compagnies. — Une obligation toute spéciale que la loi anglaise impose aux concessionnaires des distributions d'électricité, c'est d'adresser chaque année au « Board of Trade » un relevé de leur compte financier permettant de comparer le prix de revient de l'énergie au prix de vente; le « Board of Trade » publie ces documents et empêche ainsi les abus.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Vigie sous-marine Orrechioni. — Peu de jours après le naufrage de la *Bourgogne*, survenu le 4 juillet 1898 et qui coûta la vie à 437 passagers et à 118 hommes d'équipage, le Syndicat maritime de France décidait, dans sa séance du 20 juillet, d'organiser un concours international à l'effet de rechercher les meilleurs moyens d'éviter les sinistres maritimes, et principalement ceux résultant de collisions en temps de brume. Parmi les moyens préconisés par les concurrents il en est un, dû à un Marseillais, M. Orrechioni, dans lequel l'électricité joue un rôle prépondérant. En voici les principales particularités d'après une conférence de M. Léonce Fabre devant la Société scientifique industrielle de Marseille.

Ce système consiste à munir l'avant des navires d'une vedette électrique auto-indicatrice, précédant le navire à une distance de 3 à 400 m (suivant la vitesse maxima qu'il peut prendre) et reliée aux flancs de ce dernier par deux câbles flexibles maintenus rigides par la propulsion de la vigie sous-marine proprement dite qui se meut électriquement.

Les câbles conduisent l'énergie électrique fournie par la dynamo génératrice du bord à la réceptrice de la vigie et transmettent instantanément à l'officier de

Digitized by Google

L. DESRUELLES

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS, 22, rue Laugier, PARIS

VOLTS-MÈTRES & AMPÈRES-MÈTRES

APÉRIODIQUES, SANS AIMANT

Système breveté S. G. D. G. — Dispositif entièrement nouveau

Envoi franco du tarif sur demande.

Réservé à la Société Anonyme des anciens établissements

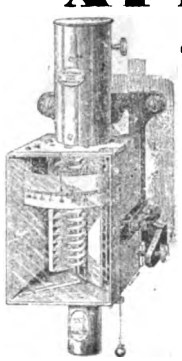
PARVILLÉE Frères et Cie

Au Capital de 1.000.000 de Francs

PORCELAINE ET FERRURES POUR L'ÉLECTRICITÉ

Siège Social, 29, rue Gauthey, PARIS

APPAREILS DE MESURE



"LORD KELVIN" — "WESTON"

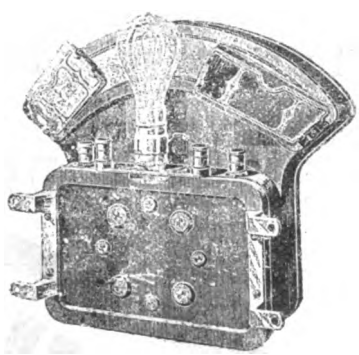
HAUTE PRÉCISION

APÉRIODICITÉ ABSOLUE

AGENTS POUR LA FRANCE :

E.-H. CADIOT Cie

12, Rue Saint-Georges. — PARIS



COMPAGNIE FRANÇAISE DES MÉTAUX

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE **25 millions** DE FRANCS

Siège social : 10, rue Volney, PARIS. Téléphone deux fils { n° 247-84 / n° 247-85

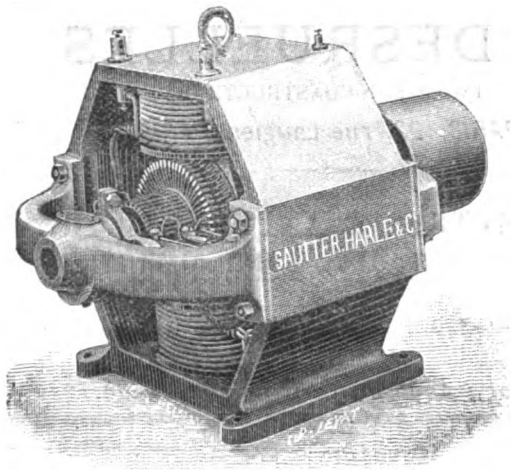
FILS ET CABLES DE HAUTE CONDUCTIBILITÉ

Fils Télégraphiques

BARRES POUR TABLEAUX DE DISTRIBUTION

Coins pour Collecteurs de Dynamos, etc., etc.

Digitized by Google



SAUTTER, HARLÉ & Cie

26, avenue de Suffren, 26

PARIS

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

Hors Concours — Membre du Jury

ÉLECTRICITÉ

ÉCLAIRAGE — TRANSPORT DE FORCE

La plus ancienne Maison de France, fondée en 1885

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

Garantie

Entretien

Types spéciaux

pour la

TRACTION

MICHEL PISCA

Bureaux

et Usine à vapeur

132 et 154, rue Marcadet

PARIS

TARIFS A PRIX RÉDUITS

Envoi franco sur demande

TÉLÉPHONE

Digitized by Google

COMPTEURS
D'ÉLECTRICITÉ
Système ARON b^tés s.g.d.g.
JACQUES ULLMANN, 16, boul. St-Denis
ATELIERS : 200, quai Jemmapes

COMPTEURS
D'ÉLECTRICITÉ
Système ARON b^tés s.g.d.g.
JACQUES ULLMANN, 16, boul. St-Denis
ATELIERS : 200, quai Jemmapes

Maison Farcot, fondée en 1823.

1855 — 1867 — 1878
GRANDS PRIX

1889
HORS CONCOURS

Générateurs DE TOUS SYSTÈMES — POMPES CENTRIFUGES

JOSEPH FARCOT

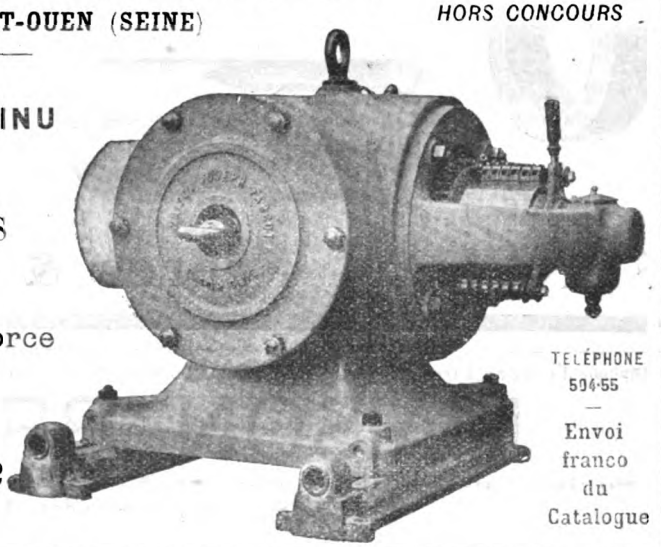
SAINT-OUEN (SEINE)

DYNAMOS A COURANT CONTINU
pour toutes applications

MOTEURS ALTERNATIFS
Synchrones et asynchrones

Eclairage — Transport de force
TRANSFORMATEURS

Machines à vapeur à déclic
A BASSE CONSOMMATION

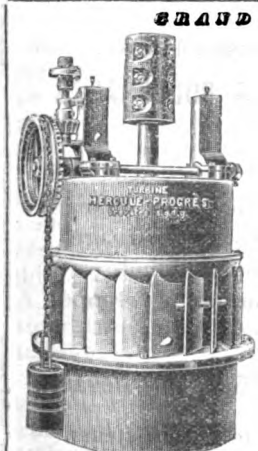


TELÉPHONE
504-55

Envoi franco du Catalogue

GRAND PRIX — DIPLOME D'HONNEUR — MÉDAILLES D'OR

Exposition de Bordeaux 1895 — *Hors Concours — Membre du Jury*
1897. **Médaille d'or** de la *Société d'encouragement* pour l'Industrie nationale pour perfectionnements aux turbines hydrauliques.



TURBINE HERCULE-PROGRÈS

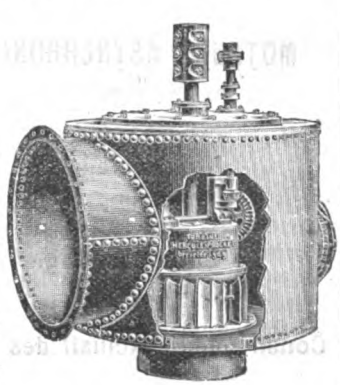
Brevetée S. G. D. G. en France et dans tous les pays étrangers
LA SEULE BONNE POUR DÉBITS VARIABLES
300,000 chevaux de force en fonctionnement

Supériorité reconnue pour Eclairage électrique, Transmission de force, Moulins Filatures, Tissages, Papeterie, Forges et toutes industries.

Rendement garanti au frein de 80 à 85 p. 100
Rendement obtenu avec une Turbine fournie à l'Etat français 90,4 p. 100

Nous garantissons, au frein, le rendement moyen de la Turbine « **Hercule-Progrès** » *supérieur à celui de tout autre système ou imitation, et nous nous engageons à reprendre dans les trois mois tout moteur qui ne donnerait pas ces résultats,*

AVANTAGES. — Pas de graissage. — Pas d'entretien. — Pas d'usure. — Régularité parfaite de marche. — Fonctionne noyée, même de plusieurs mètres, sans perte de rendement. — Construction simple et robuste. — Installation facile. — Prix modérés.



Toujours au moins 100 Turbines en construction ou prêtes pour expédition immédiate.

PRODUCTION ACTUELLE DES ATELIERS : **DEUX TURBINES PAR JOUR**

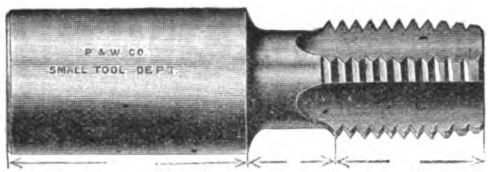
SINGRUN FRERES, Ingénieurs-Constructeurs à Épinal (Vosges)

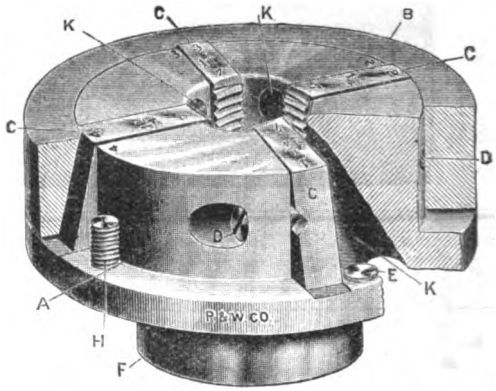
RÉFÉRENCES, CIRCULAIRES ET PRIX SUR DEMANDE

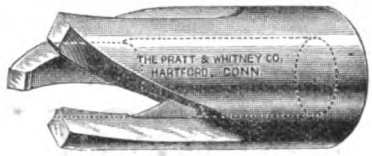
Digitized by Google

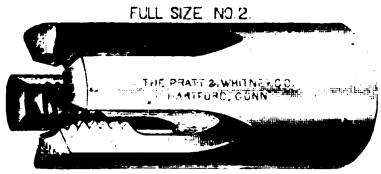
FRAISES CREUSES, TARAUDS ET FILIÈRES " PRATT & WHITNEY "

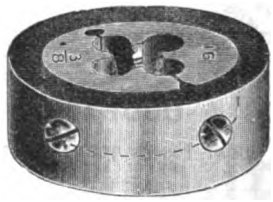
Mesures métriques, Système Français et Système International











FENWICK Frères & C°, *21, Rue Martel, PARIS*

Diplôme d'honneur, Exposition internle d'électricité, Paris 1881. Hors concours, membre du Jury à l'Exposition internle de 1889

MAISON BREGUET

Société anonyme, fondée en 1783, capital 4.000.000 de francs

PARIS — 19, rue Didot, 19 — PARIS

APPLICATIONS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTRICITÉ

Courant continu. — Courants alternatifs.

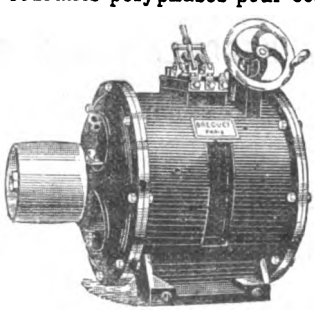
DYNAMOS A COURANT CONTINU DE TOUTES PUISSANCES
ALTERNATEURS & TRANSFORMATEURS

à courant alternatif simple et à courants polyphasés pour éclairage et transmission de force.

MOTEURS ASYNCHRONES

Système Boucherot

Ni collecteur
Ni balais
Ni accessoires
de démarrage



A COURANTS POLYPHASÉS

Breveté S. G. D. G.

Démarrage direct en charge
Le courant de démarrage
est proportionnel
au couple moteur développé.

Constructeur exclusif des TURBINES A VAPEUR système de Laval, de 5 à 300 chevaux.

(Brevet de la société de Laval)

Turbines dynamos. — Turbines motrices. — Turbines pompes. — Turbines ventilateurs.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES NAVIRES

Projecteur à miroir parabolique, brevetés S. G. D. G. — Lampe mixte horizontale, brevetée S. G. D. G.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES — APPAREILS TÉLÉPHONIQUES

Digitized by Google

quart, par des fils spéciaux un signal électrique indiquant la présence de tout obstacle soit émergeant, soit immergé, tels que : coque, épave flottante, banc de glace, etc., etc.

La vigie sous-marine, analogue à une torpille du type *Whitehead* est constituée par un cylindre de 4 m de long terminé à chacune de ses bases par un cône d'angle au sommet différent. Elle a une longueur totale de 7 m et son diamètre est de 0,50 m. C'est à son intérieur qu'est placé le moteur électrique donnant le mouvement de propulsion aux hélices situées à l'arrière de l'appareil.

L'enveloppe métallique de la vigie tout entière est en feuille d'aluminium de 5 mm recouverte d'une peinture sous-marine. Elle possède donc une légèreté plus grande tout en répondant aux conditions de résistance. La partie avant est constituée par un cône de 1 m de long, de forme effilée afin d'obtenir un coefficient de résistance moins grand pour son déplacement dans l'eau, et possède intérieurement l'avertisseur électrique dont il est facile de saisir le fonctionnement : Une fourche placée en tête de la vigie et destinée à heurter l'obstacle, fait corps avec une tige métallique pouvant coulisser facilement dans le sens horizontal suivant l'axe même de la vigie. Ce déplacement met en contact les pôles + et — des fils d'une sonnerie d'alarme située à bord du navire et rompt en même temps le courant qui produit Marche avant de la vigie pour en établir un nouveau qui lui fera faire Marche arrière jusqu'à ce que l'obstacle soit évité c'est-à-dire alors que le navire prévenu électriquement a changé de direction. Un ressort ramène ensuite les contacts à leur première position. La sonnerie cesse de résonner et la vigie reprend sa route.

Les deux branches de la fourche sont en forem d'antennes et disposées dans un plan vertical. Par suite de cette forme et cette disposition, si la fourche vient rencontrer le câble de la vigie d'un autre navire en marche, le câble touché glisse le long des antennes et vient se coïncer au sommet de l'angle formé par les deux antennes ; il en résulte une pression sur la fourche tout comme si les antennes venaient buter contre un obstacle.

La partie cylindrique centrale de la vigie contient les moteurs électriques, au nombre de 10 afin de répartir plus uniformément la charge dans le corps de la vigie. De plus, grâce à cette décomposition de l'énergie électrique que M. de Méritens a conseillée à l'inventeur, l'on n'a pas à craindre un arrêt de la vigie. Dans le cas où l'un des moteurs se dérangerait dans sa marche par un accident fortuit, les autres dynamos suffiraient au fonctionnement régulier de l'appareil. Ces moteurs actionnent par engrenages un arbre plein et un arbre creux concentriques et à chacun desquels est fixée une hélice. Les deux hélices, placées l'une derrière l'autre, tournent en sens inverse, disposition qui a pour but d'amener la stabilité de la vigie en marche.

A la partie supérieure du cylindre se trouve le flotteur D qui assure à la vigie proprement dite la flottabilité la plus complète. Son volume est calculé de façon à n'immerger que de la moitié, ce qui rend l'immersion des hélices toujours complète, tout en permettant à la vigie de rester dans un plan de flottaison très voisin de la surface de la mer. Sous l'enveloppe du flotteur court l'extrémité des câbles électro-tracteurs qui se rendent dans le cône avant.

La vigie proprement dite présente l'avantage de répondre à un service temporaire c'est-à-dire de pouvoir être employée seulement lorsque le capitaine du navire en juge l'utilité, principalement par les temps brumeux ou dans les parages dangereux.

Elle se hisse à bord comme un simple youyou et peut être placée au porte-manteau. Pour la mettre à la mer, il suffit de l'en décrocher, de la descendre à l'eau et de lui communiquer son énergie électrique. D'elle-même, elle va se mettre en place en avant du navire. Son poids total est de 1 200 kilos répartis comme suit :

Moteurs.	900 kilos.
Coque	200 »
Hélices, fourches, accessoires.	100 »
Total.	1'200 kilos.

Son déplacement est de 1 500 kilos, il reste donc un excédent de 300 kilos pour sa flottabilité.

Les câbles, dont le principal rôle est de conduire l'énergie électrique, assurent par leur disposition, le maintient constant de la vigie proprement dite dans l'axe du navire dans toutes les positions que celui-ci peut prendre, soit en ligne droite, soit en décrivant des courbes et même au cas où de fortes embardées produites par la houle ou par des courants, tenteraient de la faire dévier de son axe primitif.

La tension des câbles est produite par la force de la vigie elle-même qui, bien que marchant à une vitesse égale à celle du navire par suite de la résistance des câbles et de la masse du navire qui la suit, possède néanmoins une force capable de lui imprimer une vitesse supérieure, ce qui permet à la vigie de se replacer toujours dans l'axe.

Les câbles électro-tracteurs sont constitués par une âme en acier, destinée à augmenter leur résistance. Autour de cette âme, les fils conducteurs de l'énergie électrique sont placés en groupe de dix pour le fonctionnement de chaque récepteur. Également se trouve un câble contenant les trois fils destinés à faire fonctionner la sonnerie d'alarme, le tout réuni et recouvert d'une enveloppe isolante en gutta-percha. Ce câble est entouré sur toute sa longueur de rondelles de liège formant chapelet et destinées à établir sa flottabilité, et même avec la force que la vigie est capable de fournir, la traction des câbles peut se faire d'elle-même.

Les câbles sont fixés, d'une part, à la partie arrière de la vigie et, d'autre part, de chaque côté de la coque du navire et en son milieu sur deux tangons de 1 m 50. Cet écartement a l'avantage d'augmenter la sensibilité de transmission de la manœuvre à la vigie et d'empêcher le heurt de toute vigie contre la coque du navire. Dans un but analogue, à partir des tangons, des câbles flottants protègent le navire sur sa partie arrière.

De dix en dix mètres, à partir de la vigie proprement dite, sont disposées sur les câbles une série de pièces de contact d'une longueur de 20 cm et de la même épaisseur que le diamètre total du câble. Ces pièces servent à prévenir le navire du heurt de la vigie d'un autre navire venant couper sa route et suivant que c'est le brin babord ou le brin tribord qui est heurté, le tableau indicateur donne l'ordre « tribord tout » ou « babord tout ».

Digitized by Google

BREVETS D'INVENTION

RÉCEMMENT PUBLIÉS

BF : Brevet français. — BP : Patente anglaise — DRP : Patente allemande — USAP : Patente américaine.

La liste des brevets français est communiquée par l'Office E. Barrault, 17, Boulevard de la Madeleine, Paris

Dynamos et Moteurs.

Emmet (W.-L.-R.). 641 682, U S A P, 16 décembre 1898. Machine dynamo.

Hoffmann (G.-C.). 642 123, U S A P, 21 juillet 1899. Machine dynamo.

Monnard. 153, B P, 1899. Machine dynamo et moteur.

Brunhes. 292 718, B F, 21 septembre 1899. Perfectionnements aux machines dynamos et magnéto-électriques.

Eversbed et Société-Eversbed et Vignoles. 292 932, B F, 30 septembre 1899. Dynamo portative à main, dont une partie est applicable à d'autres usages.

Geisenhoner (H.). 640 760. U S A P, 14 novembre 1899. Inducteur de machines dynamos.

Bauer. 293 334, B F, 14 octobre 1899. Perfectionnements aux balais de dynamos.

Heidel (G.). 641 012, U S A P, 27 mars 1899. Balai pour dynamos.

Kaeferle (F). 108 571, D R P, 8 janvier 1899. Montage de commutateurs de dynamos.

The British Thomson-Houston C° (Steinmetz). 22 534, BP, 1899. Dispositif de génération de courants alternatifs.

Gehre. 292 859, B F, 27 septembre 1899. Dispositif pour la production périodique du courant électrique par des moteurs à force motrice irrégulière.

Robison. 293 260, B F, 11 octobre 1899. Système perfectionné de générateurs ou transformateurs.

Compagnie française des procédés Thomson-Houston. 293 410, B F, 17 octobre 1899. Procédé et appareil pour rectifier ou redresser des courants électriques alternatifs.

Hutin (M.), et Leblanc (M.). 108 920, D R P, 4 décembre 1898. Transformation de courant alternatif en courant continu et inversement (Add. au B. 78 825).

Rougé et Faget. 292 843, B F, 27 septembre 1899. Transformateurs de courants alternatifs en courant continu de tension égale ou différente.

Eisenmann (R.). 108 927, D R P, 19 juin 1898. Machine électrique.

Holder, Frères. 109 158, D R P, 1er mai 1897. Appareil d'induction magnétique avec aimant oblique.

Kinraide (Th.-B.). 108 824, D R P, 21 mars 1899. Appareil pour la production des décharges électriques.

Conklin (O.-F.). 640 747, U S A P, 24 avril 1899. Moteur électrique.

Conklin (O.-F.). 640 748, U S A P, 24 avril 1899. Moteur électrique.

Leitner (H). 641 125, U S A P, 16 mai 1899. Moteur électrique.

Pillsbury (E.-S.). 642 364, U S A P, 28 août 1899. Moteur électrique.

Atkinson (L.-B.). 108 539, D R P, 15 février 1898. Moteur à courant monophasé démarrant en charge.

Boucherot et Cie. 108 543, D R P. Moteur à courants polyphasés.

Schmiedel. 292 707, B F, 21 septembre 1899. Perfectionnements aux électromoteurs à inducteur et induit tournants.

Shepard (O.-F.). 641 157, U S A P, 19 mai 1899. Interrupteur pour moteurs électriques.

Atterberg. 22 615, B P, 1899. Appareil de sûreté pour dispositif de démarrage des moteurs.

Hunter (R.-M.). 641 452, U S A P, 16 janvier 1895. Dispositif de régulation des moteurs électriques.

Hunter (R.-M.). 641 453, U S A P, 9 novembre 1899. Méthode de régulation des moteurs.

Harfield. 293 266, B F, 11 octobre 1899. Perfectionnements dans les appareils pour régler électriquement les moteurs, électromoteurs et autres machines.

Piles et Accumulateurs.

Fontaine-Atgier. 293 005, B F, 3 octobre 1899. Nouveau système de piles électriques dit : à double excitation avec dispositif à grille chargée de substances chimiques les plus appropriées en l'espèce et les plus aptes (naphtaline, potasse, baryte), à détruire les vapeurs nitreuses et à s'emparer du chlore qui prennent naissance pendant le fonctionnement de ces nouveaux couples.

Delafon. 293 182, B F, 9 oct. 1899. Pile électrique sèche.

Trillet. 293 375, B F, 16 octobre 1899. Pile électrique à grand débit.

Delafon. 20 471, B P, 1899. Piles électriques.

Siemens Bros et C° (Siemens et Halske Aktien-Gesellschaft). 23 813, B P, 1899. Piles électriques.

Prosser (D.-W.). 641 890, U S A P, 6 novembre 1899. Pile électrique.

Hydrawerk (E.-A.-G.). 108964, DRP, 5 août 1899. Elément galvanique avec deux cylindres de zinc concentriques.

Anderson. 22 666, B P, 1899. Générateur chimique d'électricité.

Leroy. 293 157, B F, 7 octobre 1899. Boite à compartiments pour batteries, dite *batterie sèche Leroy*.

Perrot. 292 888, B F, 28 septembre 1899. Vases poreux pour piles électriques et autres usages et leur mode de fabrication.

Heidel (Gustavos). 641 011, U S A P, 4 février 1899. Accumulateurs.

Goldstein. 292 699, B F, 20 septembre 1899. Accumulateur électrique.

Placet. 290 913. B F, 30 septembre 1899. Certificat d'addition au brevet du 18 juillet 1899 pour perfectionnements aux accumulateurs électriques.

Crepet, Ratignier et Dumoulin. 293 297, B F, 13 octobre 1899. Nouvelle disposition d'accumulateur d'électricité.

Semprun et Fortun. 292 792. B F, 25 septembre 1899. Accumulateur électrique avec plaques d'aluminium.

Champagne. 1 844, B P, 1899. Plaques d'accumulateurs.

David. 293 159, B F, 7 octobre 1899. Plaque d'accumulateur électrique avec barreaux à section en croix entretoisés d'ailettes.

Wuillot. 23 728, B P, 1899. Fabrication de plaques en plomb pour batteries d'accumulateurs.

Andreas (E). 108 921, D R P, 13 mars 1899. Fabrication d'électrodes d'accumulateurs.

Cuntz (H.-R.). 640 753, U S A P, 27 octobre 1899. Appareil pour indiquer l'état des batteries d'accumulateurs.

Maxim (H.-P.). 640 787, U S A P, 27 octobre 1899. Dispositif pour indiquer l'état des batteries d'accumulateurs.

Applications mécaniques.

Heiborns-Elektrizitaets-Byra, 108 891. D R P, 17 février 1899. Appareil de distribution pour ascenseur électrique.

Fuchs (O). 642 102, U S A P, 1er novembre 1898. Signaux électriques pour croisements de voie.

Souder (H.-W.). 642 379. U S A P, 28 août 1899. Signaux électriques pour voie ferrée.

Ferreira et Pryce. 214, B P, 1899. Appareil électrique de manœuvre des signaux de chemins de fer.

Devilliers, 293 332. B F, 14 octobre 1899. Application d'un système d'avertisseurs électriques à courant continu par l'emploi des courants de haute tension.

Van Zwoll. 108 857, D R P, 21 avril 1899. Signal automatique à sonnerie électrique.

Veuve Charron et Bellanger. 293 072. B F, 4 octobre 1899. Système de sonnerie électrique avec électro-aimant à noyau brisé.

Anderson. 26 769, B P, 1898. Cloches électriques.

Campbell (L.). 640 872, U S A P, 17 mars 1899. Signal d'alarme en cas d'incendie.

Campbell (L.). 640 873, U S A P, 26 septembre 1899. Signal d'alarme en cas d'incendie.

Digitized by Google

Blackwell (H.-B.). 641 924, U S A P, 24 août 1899. Avertisseur d'incendie.
Garl (M.). 641 950, U S A P, 12 septembre 1899. Système avertisseur d'incendie.
Wangart. 293 372, B F, 16 octobre 1899. Appareil électrique de réveil et d'alarme pour hôtels, etc.
Reynolds (J.-R.). 642 257, U S A P, 26 juillet 1898. Valve d'admission de vapeur à manœuvre électromagnétique.
Purinton et Reynolds. 11 804, U S A P, 22 décembre 1899 (Renouvelé). Système électromagnétique pour arrêter les moteurs à vapeur.
Borja (Francisco de). 641 538, U S A P, 4 novembre 1899. Appareil électromagnétique.
Metallurgische Gesellschaft A.-G.. 108 930, D R P, 11 août 1898. Procédé et appareil pour le traitement magnétique (Addition au brevet 92 212).
Metallurgische Gesellschaft A.-G.. 108 931, D R P, 11 août 1898. Appareil pour le traitement magnétique (Addition au brevet 92 212).
Payne (C.-Q.). 641 147, U S A P, 26 juin 1897. Séparateur magnétique.
Payne (C.-Q.). 641 148, U S A P, 20 janvier 1897. Méthode pour séparer magnétiquement les minerais.
Payne (C.-Q.). 641 220, U S A P, 20 janvier 1897. Séparateur magnétique de minerais.

Traction.

Bruns et Ottesen. 641 829, U S A P, 15 août 1899. Tramway électrique suspendu.
Esmond (F.-C.). 642 216, U S A P, 27 septembre 1898. Système unité multiple pour la commande des chemins de fer électriques.
Lorrain (Esmond). 216, B P, 1899. Chemin de fer électrique du type à conducteur sectionné.
Murphy (J.). 641 879, U S A P, 7 février 1899. Système de traction à contacts superficiels.
Dussek (E.). 108 995, D R P, 5 janvier 1899. Conducteur aérien isolé pour traction électrique avec disposition de contacts à distances correspondantes.
Privat (H.). 108 821, D R P, 26 avril 1899. Conduite souterraine pour tramway électrique avec distributeur mécanique.
Stendebach (C.-F.-Ph.). 108 565, D R P, 23 janvier 1898. Dispositif d'amenée de courant pour tramways électriques avec distribution mécanique.
Stendebach (C.-F.-Ph.). 108 570. D R P, 10 mars 1899. Mécanisme de fermeture du courant pour tramways électriques avec conduite souterraine et distributeur mécanique.
Pfent et Moran, 642 363, U S A P, 1er mai 1899. Poteaux pour fils de trôlet.
Huber (L.). 108 582, D R P, 12 mars 1899. Prise de courant à contact glissant pour voiture électrique avec conducteur aérien.
Union-Elektrizitæts-Gesellschaft. 109 166, D R P, 27 avril 1899. Disposition de prises de courant pour traction électrique avec conducteur aérien.
Raum (G.-F.). 640 810, U S A P, 5 octobre 1898. Roues de trôlet.
Carlyle (W.-E.). 641 371, U S A P, 27 mai 1899. Disposition d'arrêt des perches de trôlet.
Graham (H.-W.). 641 383, U S A P, 15 novembre 1899. Attache de perche de trôlet.
Bonnet (E.). 641 264, U S A P, 16 juin 1899. Boîte de contact pour tramways.
Siemens Bros et Cº (Siemens et Halske Aktien Gesellschaft). 23 055, B P, 1899. Appareil collecteur de courant pour les conducteurs souterrains de chemins de fer et tramways électriques.
Mayer (C.-J.). 642 553, U S A P, 1er décembre 1899. Connecteur de rails.
Mayer (C.-J.). 642 554, U S A P, 1er décembre 1899. Connecteur de rails.
Conrad (W.-H.). 640 749, U S A P, 1er novembre 1899. Combinateur pour contrôler à distance les moteurs.
The British Thomson-Houston Cº (Potter). 23 739, B P, 1899. Tramways électriques et voitures.
Sperry (E.-A.). 641 412, U S A P, 16 septembre 1899. Equipement électrique et frein pour voitures.
Cooper (W.). 641 843, U S A P, 23 juin 1898. Système pneumatique de contrôle pour tramways électriques.
Cravath (J.-R.). 641 275, U S A P, 1er avril 1899. Contrôleur pour conducteurs de tramways.
Porter (J.-Y.). 641 224, U S A P, 17 décembre 1896. Indicateur des noms de rues dans les tramways.

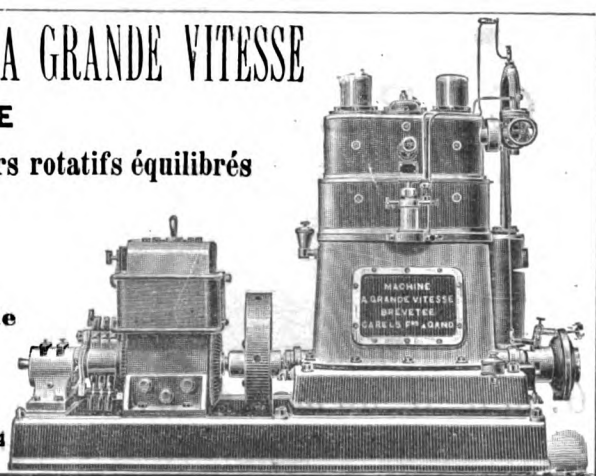
ACCUMULATEUR pour Voitures Électriques

18, Quai de Clichy
CLICHY (Seine)
TÉLÉPHONE : 511.86

FULMEN

SOCIÉTÉ ANONYME DES MOTEURS A GRANDE VITESSE
SCLESSIN-LIEGE
Moteurs CARELS, à simple effet et à tiroirs rotatifs équilibrés

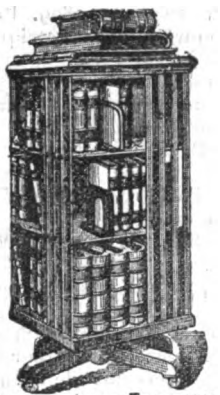
Construction robuste et soignée
Marche silencieuse
Régularité parfaite
Simplicité remarquable
EXPOSITION ANVERS 1894 : **GRAND PRIX**



Agent exclusif pour la France :
L. PITOT 44, rue Lafayette, 44 PARIS

Digitized by Google

BIBLIOTHÈQUE-TOURNANTE
TERQUEM



BIBLIOTHÈQUE-TERQUEM

APPUI-LIVRES MÉTAL

APPUI-LIVRES BOIS

Indispensable à toute personne ayant besoin d'avoir sous la main des livres usuels. Sert également de casier à musique.

MODÈLES ORDINAIRES
et de
LUXE

APPUI-LIVRES
EN BOIS ET MÉTAL

Porte-Dictionnaires, etc.

Envoi franco de l'Album illustré

Em. TERQUEM
19, Rue Scribe, 19
PARIS

Appareillage spécial pour Tensions jusqu'à 500 Volts

LUSTRERIE

VENTILATEURS

Téléphones

Supports
Interrupteurs
Coupe-circuit, etc.

The General Electric Co Ld

AGENT GÉNÉRAL :
LUCIEN ESPIR
11 *bis*, rue de Maubeuge. — **PARIS**

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE
L'ACCUMULATEUR TUDOR
Société anonyme. Capital : 1.600.000 fr.
Siège social : 48, rue de la Victoire, Paris
USINES : 39 et 41, route d'Arras, LILLE

INGÉNIEURS-REPRÉSENTANTS :
ROUEN, 47, rue d'Amiens. — LYON, 106, rue de l'Hôtel-de-Ville.
NANTES, 7, rue Scribe. — TOULOUSE, 62, rue Bayard.
NANCY, 2 *bis*, rue Isabey.

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE
Tudor Paris, Tudor Lille, Tudor Rouen, Tudor Nantes, Tudor Lyon, Tudor Toulouse, Tudor Nancy.

COMPTOIR PHOTO-PRATIQUE
Appareils Photographiques et Produits irréprochables

GRANDES FACILITÉS DE PAIEMENT
Pour **toutes les** commandes d'appareils accompagnées de leur montant intégral il est accordé un escompte de caisse de 5 p. 100

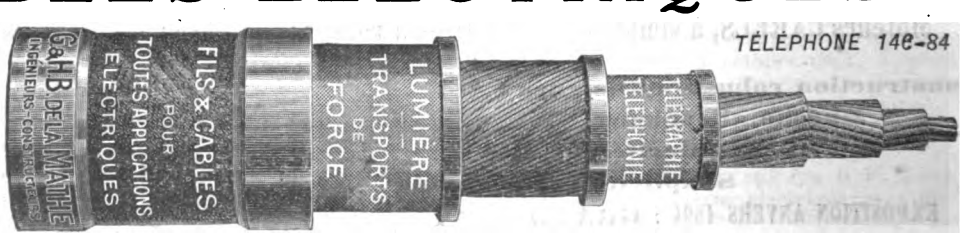
Toutes les Expéditions sont faites franco de port et d'emballage quelle qu'en soit l'importance.

Envoi gratis et franco de notre **Catalogue général illustré** ainsi que de notre **" Traité de Photographie "** renfermant environ 300 formules, à tout lecteur de **L'Éclairage Électrique** qui nous en adressera la demande.

Adresse : PHOTO-PRATIQUE, Asnières (Seine)

CABLES ÉLECTRIQUES

MAISONS :
LYON
ET
BORDEAUX



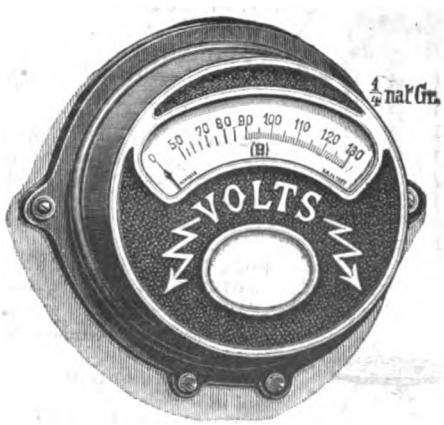
G. & H.-B. de la MATHE. Dépôt : 81, rue Réaumur, Paris.
Usines et bureaux à Gravelle-Saint-Maurice (Seine.)

Digitized by Google

Alcock (A.-V.). 642 662, U S A P, 6 janvier 1899. Transmetteur d'ordres et de signaux.
Féry (Ch.). 109 733, D R P, 14 juin 1899. Pendule actionné électriquement à force constante.
Wendt et Krausse. 2 627, B P, 1899. Système de distribution de l'heure et signaux d'alarme pour incendie.
Lavens et Lavens. 8 483, B P, 1899. Signaux électriques.
Harris (G.). 644 551, U S A P, 6 août 1898. Appareil électrique pour signaux.
Keeler (T.-B.). 643 823, U S A P, 10 mars 1899. Moteur pour la manœuvre des signaux.
Neely (S.-L.). 642 848, U S A P, 10 mai 1899. Signaux de chemin de fer.
Mansfield et Thompson. 643 666, U S A P, 6 avril 1899. Système de signaux pour chemins de fer.
Burian (C.). 643 810, U S A P, 25 septembre 1899. Appareil pour éviter les collisions de trains.
Hume (W.). 109 629, D R P, 4 octobre 1898. Annonce électrique des trains.
Poulsen (V.). 109 569, D R P, 10 décembre 1898. Dispositif pour recevoir et conserver à de certains moments les annonces, signaux, etc.
Miller, Witt et Jones. 643 138, U S A P, 13 juillet 1899. Signaux électriques et sonnerie d'alarme automatique pour chemins de fer.
Savile (J.). et Winspear, 643 255, U S A P, 13 août 1898 Signaux de chemins de fer de jour et de nuit manœuvrés électriquement.
Ruddick (J.-J.). 643 609, U S A P, 16 août 1899. Signaux pour tramways électriques.
British Thomson-Houston C°. 21 658, B P, 1899. Système de signaux pour tramways.
Webb et Thompson, 6 052, B P, 1899. Appareil de manœuvre électrique des signaux de tramways.

Traction.

Lorrain (Esmond). 1 960, B P, 1899. Tramway électrique à conducteur sectionné.
Kingsland. 4 210, B P, 1899. Tramway électrique à conducteur sectionné.
Gunyon. 24 228, B P, 1899. Tramways électriques à contacts superficiels.
Bonnet, Paufique et Linière. 642 737, U S A P, 11 juillet 1899. Tramway électrique à contacts superficiels.
Kingsland (W.). 643 414, U S A P, 4 octobre 1899. Pavé de contact superficiel pour traction électrique.
Thompson et Walker. 1 765, B P, 1899. Système de traction à contacts superficiels.
Dion (L.). 643 742, U S A P, 2 juillet 1897. Système de traction à caniveau.
Baumer (J.) et Emmel (A.). 642 570, U S A P, 5 octobre 1899. Tramway électrique souterrain.
Milnes. 3 999, B P, 1899. Traction par accumulateurs.
British Thomson-Houston C°. 24 439, B P, 1899. Système de distribution pour tramways électriques.
Chapman (W.). 643 283, U S A P, 16 mai 1896. Système de distribution pour chemin de fer électrique.
British Thomson-Houston C°. 23 292, B P, 1899. Locomotives électriques.
Bichter (C.). et Eschler. 643 276, U S A P, 19 mai 1899. Moteur électrique pour traction.
Brookes (Stort). 4 822, B P, 1899. Suspension de moteur pour véhicules électriques automoteurs.
Holmes (G.) et Holland (H.). 643 501. U S A P, 31 mars 1899. Trôlet.
Magrini. 6 820, B P, 1899. Trôlet ou collecteur de courant pour tramways et chemins de fer.
Lombard-Gerin. 24 940, B P, 1899. Trôlet automoteur pour véhicules sur route.
Jamme (G.-E.). 643 327, U S A P, 17 juin 1899. Perche de trôlet pour locomotives de mine.
Bernheimer (J.). 109 297, D R P, 25 février 1899. Prise de courant pour tramway électrique.
Compagnie générale de traction. 24 458, B P, 1899. Support de contact électrique (frottoir ou balai) au-dessous des rails ou au-dessous des tramways électriques.
Kingsland. 6 321, B P, 1899. Contact superficiel pour traction électrique.
British Thomson-Houston C°. 23 737, B P, 1899. Sabots de contact pneumatiques pour tramways à troisième rail.
Stendebach (C.-F.-P.). 644 108, U S A P, 28 septembre 1899. Dispositif de prise de courant pour tramways à caniveau.
British Thomson-Houston C°. 21 657, B P, 1899. Système de régulation des trains électriques.
British Thomson-Houston C°. 21 653, B P, 1899. Régulation des moteurs et des freins de tramways électriques.
British Thomson-Houston C°. 21 651, B P, 1899. Tramways électriques et méthode de régulation.
Von Zweigbergk. 643 442, U S A P, 31 mars 1899. Combinateurs pour tramways électriques.
Esmond (F.-C.). 642 216, U S A P, 27 septembre 1898. Système de contrôle de tramways électriques dit système unité multiple.
Berg (E.-J.). 644 051, U S A P, 11 octobre 1899. Combinateur pour courants alternatifs.
Cunningham. 6 593, B P, 1899. Appareil de freinage.
Jœdicke. 23 216, B P, 1899. Interrupteur pour usage permanent et pour conducteur de tramways électriques.



RICHARD CH. HELLER & C^ie

18, Cité Trévise, PARIS — Téléphone 160-58

REPRÉSENTANTS ET CONCESSIONNAIRES DE

HARTMANN & BRAUN

La plus importante fabrique d'instruments de mesures électriques

Voltmètres, Ampèremètres électro-magnétiques, thermiques, etc.
Wattmètres, Ohmmètres, Enregistreurs, Compteurs,
Galvanomètres, Boîtes de résistances, Photomètres, etc., etc.

Demander le nouveau prix courant des Ampèremètres et Voltmètres industriels simplifiés, en boîte de fonte élégante, cliché ci-contre.

Digitized by Google

TRAVERSES DE CHEMINS DE FER

en TOUS BOIS et de TOUTES DIMENSIONS, BRUTS ou IMPRÉGNÉS

POTEAUX TÉLÉGRAPHIQUES ET MATS DE CONDUITE

en *excellent Bois droit* de la **FORÊT NOIRE**
IMPRÉGNÉS d'après *le Règlement de l'Administration des Postes.*

J. HIMMELSBACH, à **OBERWEIER,** Poste **FRIESENHEIM** (Badę)

Commerce de Bois et Établissements d'imprégnation

ATELIERS RUHMKORFF

J. CARPENTIER

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS — 20, rue Delambre, 20 — PARIS

APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES

Ohmmètre pour la mesure des isolements. — Wattmètres pour la vérification des compteurs. — Pyromètre électrique de M. Le Chatelier. — Installation pour la vérification des ampèremètres et voltmètres. — Appareil pour la mesure rapide des faibles résistances. — Voltmètre de précision. — Boîtes de résistances industrielles. — Bobines Ruhmkorff pour l'inflammation des moteurs à gaz.

CHEMINS DE FER D'ORLÉANS

EXCURSIONS

AUX

STATIONS THERMALES ET HIVERNALES

des Pyrénées et du Golfe de Gascogne

Arcachon, Biarritz, Dax, Pau, Salies-du-Béarn, etc.

TARIF SPÉCIAL G. V. N° 106 (Orléans).

Des billets aller et retour de toutes classes, valables pendant 25 jours, non compris les jours de départ et d'arrivée, avec réduction de 25 p. 100 en 1re classe, et de 20 p. 100 en 2e et 3e classes sur les prix calculés au tarif général d'après l'itinéraire effectivement suivi, sont délivrés toute l'année, à toutes les stations du réseau d'Orléans, pour :

Agde (Le Grau), **Alet, Amélie-les-Bains, Arcachon, Argelès-Gazost, Argelès-sur-Mer, Arles-sur-Tech** (La Preste), **Arreau-Cadéac** (Vieille-Aure), **Ax-les-Thermes, Bagnères-de-Bigorre, Bagnères-de-Luchon, Balaruc-les-Bains, Banyuls-sur-Mer, Barbotan, Biarritz, Boulou-Perthus** (le), **Cambo-les-Bains, Capvern, Collioure, Couiza-Montazels** (Rennes-les-Bains), **Dax, Espéraza** (Campagne-les-Bains), **Grenade-sur-l'Adour** (Eugénie-les-Bains), **Guéthary** (halte), **Gujan-Mestras, Hendaye, Labenne** (Cap-Breton), **Labouheyre** (Mimizan), **Laluque** (Préchacq-les-Bains), **Lamalou-les-Bains, Laruns-Eaux-Bonnes** (Eaux-Chaudes), **Leucate** (La Franqui), **Lourdes, Loures-Barbazan, Marignac-Saint-Béat** (Lez, Val-d'Aran), **Nouvelle** (la), **Oloron-Sainte-Marie** (Saint-Christau), **Pau, Pierrefitte-Nestalas** (Barèges, Cauterets, Luz, Saint-Sauveur), **Port-Vendres, Prades** (Mohtg), **Quillan** (Ginoles, Carcanières, Escouloubre, Usson-les-Bains) **Saint-Flour** (Chaudesaignes), **Saint-Gaudens** (Encausse, Gantiès), **Saint-Girons** (Audinac, Aulus), **Saint-Jean-de-Luz, Salechan** (Sainte-Marie, Siradan), **Salies-de-Béarn, Salies-du-Salat, Ussat-les-Bains et Villefranche-de-Conflent** (le Vernet, Thuès, les Escaldas, Craïs-de-Canaveilles).

LAMPE DUFLOS

BREVETÉE S. G. D. G.

En France et à l'Étranger

COMBIER ET DUFLOS

INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS

12, rue du Delta, Paris

Modèle unique pour intensités de 3 à 15 ampères

POINT LUMINEUX FIXE

FONCTIONNEMENT GARANTI SANS COLLAGES DE CHARBONS

Courants continus et courants alternatifs

La lampe DUFLOS est adoptée par les ministères : de la Guerre, du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes.

RHÉOSTATS PERFECTIONNÉS
MOTEURS — VENTILATEURS

Expériences tous les jours de
2 h. à 6 heures
12, rue du Delta

Delafolie, Bastide, Castoul aîné et Cie

6, rue Martel, Paris.

CONCESSIONNAIRES

PRICE (J.-M.). 644 094, USAP, 23 avril 1894. Connecteur de rails.
KÖLNER ACCUMULATOREN-WERKE GOTTFRIED HAGEN. 23 021 BP, 1899. Moteur électrique pour automobiles.
WHITTLESEY (J.-T.). 643 854, USAP, 26 juin 1899. Moteur pour automobiles.
BURROWS (C.-G.). 643 865, USAP, 15 novembre 1899. Combinateur pour automobiles.

Télégraphie et Téléphonie.

COLLINS (A.-F.). 644 497, USAP, 21 novembre 1899. Télégraphie sans fil.
ORLING, BRAUNERHJELM, SJÖGREN, HUSELIUS, LENNQUIST. 109 059, DRP, 16 décembre 1898. Excitation pour la production des ondes électriques.
GUARINI. 293 957. BF, 3 novembre 1899. Répétiteur Guarini pour télégraphie sans fil.
DUCRETET. 23 047, BP, 1899. Tube radio-conducteur.
BRAUN. 1 862, BP, 1899. Transmission de signaux télégraphiques sans fil de connexion.
BRAUN. 1 863, BP, 1899. Transmission de signaux sans fil.
HEATHCOTE WALTER (L.). 643 018 USAP, 6 mars 1899. Appareil pour l'utilisation des ondes hertziennes et ondes similaires.
KAMM (L.). 643 379, USAP, 21 novembre 1898. Télégraphe imprimant.
BUSSE (G.). 109 379, DRP, 25 mars 1899. Inscripteur double pour produire les caractères Estienne.
NIXON. 293 875, BF, 31 octobre 1899, Perfectionnements apportés aux relais automatiques.
STEVENS, VYLE et MILNER. 2 482, BP, 1899. Méthode et appareil pour enregistrer, répéter et transmettre les signaux Morse.
MILLET, 294 077, BF, 7 novembre 1899. Perfectionnements dans les systèmes de télégraphie sous-marine et les appareils employés à cet effet.
NYE et Mc INTOSH. 644 448, USAP, 28 octobre 1899. Ferme-circuits pour clef télégraphique.
WRIGHT (S.-R.). 643 706, USAP, 11 décembre 1897. Dispositif télégraphique de sûreté.
GAMEWELL FIRE ALARM TELEGRAPH Co. 24 717, BP, 1899. Appareil télégraphique d'alarme.
SINDING-LARSEN. 643 545, USAP. 22 août 1899. Télégraphe-téléphone.
SINDING-LARSEN (A.). 108 993. DRP, 12 février 1899. Procédé de télégraphie entre deux stations téléphoniques reliées entre elles par un bureau de communication.
STROMBERG (A.). 643 830, USAP, 10 novembre 1899. Transmetteur téléphonique.
TUCKER et JENKINS. 643 993, USAP, 23 mai 1899. Transmetteur téléphonique.
KELLER (A.-K.). 644 205, USAP, 20 août 1898. Transmetteur téléphonique.
DUPONT (G.-F.). 643 484, USAP, 1er avril 1898. Transmetteur microphonique.
FAHNESTOCH (E.-B.). 644 561, USAP, 1er mars 1899. Microphone.
EURIEULT. 294 208, BF, 11 novembre 1899. Perfectionnements dans les charbons de microphones.
HART et MILLIGAN. 642 982, USAP, 7 mars 1899. Embouchure antiseptique pour transmetteur téléphonique
TAYLOR (W.-H.). 642 309, USAP, 9 mars 1899. Dispositif hygiénique pour embouchure de téléphone.
MARTIN (M.). 643 801, USAP, 2 juin 1899. Embouchure antiseptique de téléphone.
KELLER (A.-K.). 644 206, USAP, 20 août 1898. Récepteur téléphonique.
SWAN (F.-A.). 642 934, USAP, 3 mai 1899. Instrument téléphonique.
HOULEHAN (James). 643 225, USAP, 14 septembre 1899. Répétiteur téléphonique.
BYNG et BELL. 22 016, BP, 1899. Commutateur téléphonique.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES CABLES ÉLECTRIQUES

Système BERTHOUD, BOREL & Cie

Société anonyme au capital de **1.300.000** *francs.*

Siège social et Usine à Lyon : 11, Chemin du Pré-Gaudry,

CABLES ÉLECTRIQUES SOUS PLOMB, POUR BASSES ET HAUTES TENSIONS

Transports de force, Tramways, Lumière, Télégraphie, Mines, etc., etc.

Fournisseurs du Secteur des Champs Élysées à Paris, de la Société des Forces motrices du Rhône à Lyon et des villes de Limoges, Le Havre, Châlons-sur-Saône. Dieppe, Cognac, Pau, Amiens, etc.

ACCUMULATEUR pour Voitures Électriques

18, Quai de Clichy
CLICHY (Seine)
TÉLÉPHONE : 511.86

FULMEN

Digitized by Google

Keller (A.-K.). 644 204, U S A P, 1er juillet 1897. Commutateur pour système téléphonique.
Veysy. 293 644, B F, 24 octobre 1899. Perfectionnements apportés aux autocommutateurs téléphoniques.
Yaxley (E.). 642 809, U S A P, 26 juillet 1898. Tableau téléphonique.
Scribner (C.-E.). 642 880, U S A P, 14 février 1898. Connecteur pour lignes téléphoniques.
Brown (F.-H.). 644 315, U S A P, 27 novembre 1899. Relai téléphonique.
Preismann (E.). 109 723. D R P, 4 décembre 1898. Dispositif pour actionner électriquement la fiche de fermeture établissant les liaisons téléphoniques.
Siemens et Halske. 109 768, D R P, 28 février 1899. Addition au 106 894. Disposition pour donner automatiquement le signal de fermeture aux bureaux de communication téléphonique.
Burger (F.). 643 864, U S A P, 3 mai 1899. Signal automatique téléphonique.
Bénard. 293 932, B F, 3 novembre 1899. Poste téléphonique central domestique.

Applications thermiques.

Fatus. 294 191, B F, 10 novembre 1899. Nouveau four électrique.
Bonfaut (A.). 109 624, D R P, 14 avril 1898. Four chauffé à température constante par un arc électrique.
Hatch. 24 723, B P, 1899. Procédé de fusion des minerais et fours électriques.
Hill (H.-M.). 643 898, U S A P, 23 janvier 1899. Étuve de dentiste à chauffage électrique.
G.-L. Thompson Manufacturing Co. 4 312, B P, 1899. Appareil de soudure électrique.
Société anonyme des anciens établissements Parvillée frères et Cie. 293 672, B F, 25 octobre 1899. Résistances électriques applicables au chauffage.
Barman. 416, B P, 1899. Appareil de chauffage électrique.
Hawkins (G.-C.). 643 744, U S A P, 13 mars 1899. Ventilateur électrique avec dispositif de chauffage de l'air.
Babbitt (E.-B.). 643 618, U S A P, 19 juillet 1899. Appareil de mise à feu.
Noyes (R.-N.). 644 143, U S A P, 10 avril 1899. Allumage des becs de gaz.
Schreiber (R.). 642 804, U S A P, 30 juillet 1898. Allumage électrique de brûleur à gaz ou de lampe à combustible liquide.
Schünemann (H.) et Rieder (O.). 109 677, D R P, 15 janvier 1899. Allumoir électrique à distance.
Reform-Petroleumbeleuchtung Gesellschaft. 109 213, D R P, 22 mai 1898. Allumoir électrique pour lampes à mèche.
Drawbaugh. 643 087, U S A P, 6 mai 1899. Générateur d'étincelles pour moteur à gaz.
Motsinger (H.-N.). 642 869, U S A P, 21 avril 1899. Régulateur de la vitesse d'un générateur d'étincelles pour moteur à gaz.
Soc. anon. « Lux Nova ». 20 124, B P, 1899. Dispositif électrique pour l'allumage des becs de gaz.
Sangster. 7 823, B P, 1899. Contacts pour l'allumage des moteurs à gaz.
Morgan Stern. 643 880, U S A P, 12 juin 1899. Appareil thermostatique.
Woodman (E.-F.). 643 179, U S A P, 28 mars 1899. Appareil thermo-statique.
May (C.-E.). 643 722, U S A P, 14 novembre 1898. Thermostat.

Éclairage.

Brown. 3 130, B P, 1899. Lampes électriques.
Van Duzer (W.). 642 648, U S A P, 27 avril 1899. Dispositif d'éclairage électrique.
Lunner (R.). 109 471, D R P, 31 décembre 1898. Dispositif pour éviter l'allumage simultané de plusieurs groupes de lampes alimentés par une station.
Prücker (C.-M.). 642 627, U S A P, 2 septembre 1899. Système d'éclairage électrique.
Richon. 293 985, B F, 4 novembre 1899. Système de commutateur mécanique pour distribution intermittente de lumière électrique.
The British Thomson-Houston Co. 8 840, B P, 1899. Système d'éclairage électrique à incandescence.
Whitty. 293 809, B F, 30 octobre 1899. Lampe à arc.
James. 571, B P, 1899. Lampe à arc.
Baggett. 3 594, B P, 1899. Lampes à arc.
Upton. 9 209, B P, 1899. Lampes à arc.
Day. 4 788, B P, 1899. Lampe à arc.
British Thomson-Houston Co. 10 768, B P, 1899. Lampes à arc.
The British Thomson-Houston Co. 23 285, B P, 1899. Lampes à arc.
Toerring (C.-J.). 643 834, U S A P, 18 juillet 1899. Lampe à arc.
Davy. 918, B P, 1899. Lampe à arc enfermé.
The British Thomson-Houston Co. 23 288, B P, 1899. Lampes à arc enfermé.
Société sir W. G. Armstrong Whitworth et Co Ltd. 294 107, B F, 8 novembre 1899. Lampe à arc intermittent pour signaux nocturnes.
Körting et Mathiesen. 109 472, D R P, 21 février 1899. Lampe à arc avec deux arcs disposés en série.
Siemens et Halske Electric Cy of America. 293 961, B F, 4 novembre 1899. Système perfectionné de mécanisme de rapprochement et de contrôle des charbons pour lampes à arc.
Robinson (J.-T.). 642 826, U S A P, 2 août 1898. Charbons pour lampes à arc.
Bremer. 21 637, B P, 1899. Electrodes pour lampes à arc.
Bremer. 293 806, B F, 30 octobre 1899. Perfectionnements aux électrodes pour lampes électriques à arc.

AVIS

Exposition internationale de la Canée (mai 1900). — Cette exposition sera ouverte le 1er mai prochain par le prince Georges, de Grèce.

Le Comité d'organisation fait appel aux industriels désireux d'étendre l'exportation de leurs produits vers la Crète et prie les retardataires d'adresser leurs adhésions, avant le 5 avril, à M. Arthur Gobert, à Prague (KRL), Bohême, directeur de l'Exposition.

A vendre ou *à louer* **Chute d'eau**, puissance 2 000 chevaux sous gros volume d'eau, distance 5 km d'une ville importante, vastes terrains usiniers, gare à proximité.

S'adresser : *Société Forces du Fier*, Annecy (Haute-Savoie).

Les travaux d'aménagement en cours d'exécution seront terminés en juin 1900.

HOURY & Cie

MANUFACTURE GÉNÉRALE DE

CABLES & FILS NUS & ISOLÉS

POUR

Toutes les Applications de l'Électricité

ADMINISTRATION : 60, Rue de Provence | USINES : Rue Pelleport, 110

PARIS

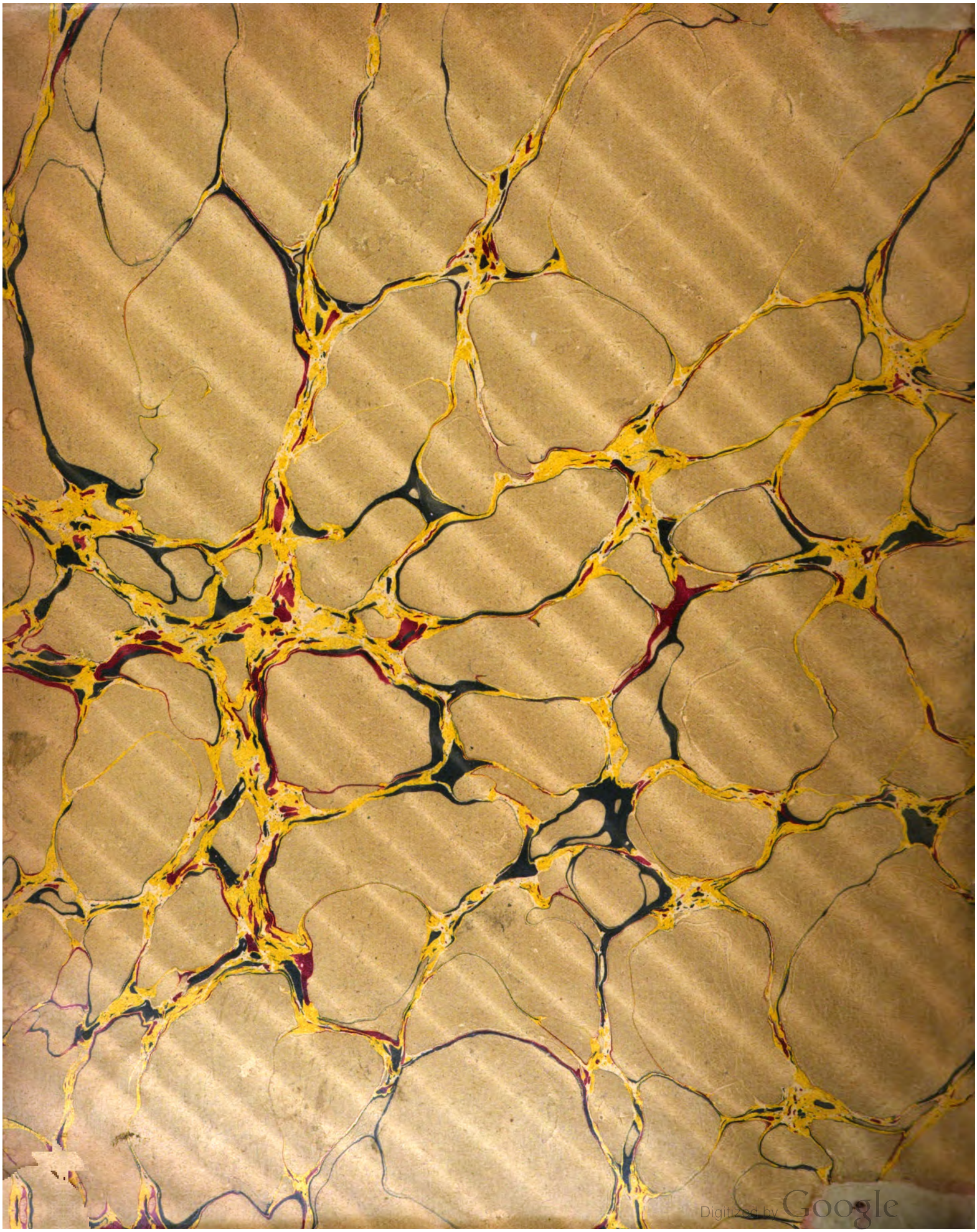
Catalogues et Échantillons franco sur demande.

Digitized by Google

Digitized by Google

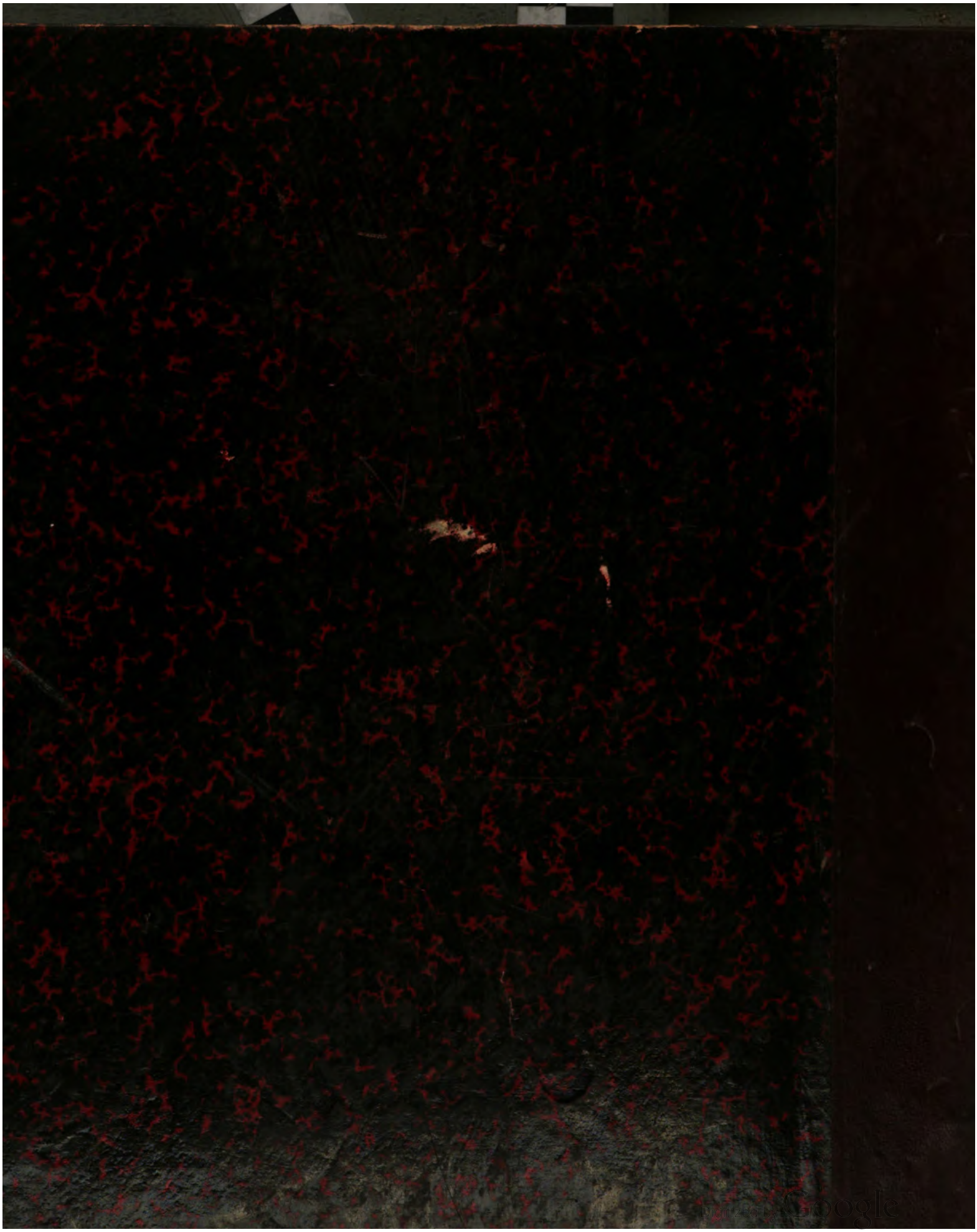
Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 07500 0201

Digitized by Google


Digitized by Google